

Aus dem Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. Steffen Ruchholtz
Medizinische Direktorin: Prof. Dr. med. Susanne Fuchs-Winkelmann

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

Ergebnisse nach Elastisch-Stabiler Intramedullärer Nagelung
(ESIN) kindlicher diaphysärer Unterarmfrakturen

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin
dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Theresa Modzel (geb. Kortüm) aus Wiesbaden
Marburg, 2018

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am
15.02.2018

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Herr Prof. Dr. H. Schäfer

Referent: Herr PD Dr. C.-D. Peterlein

1. Korreferent: Herr PD Dr. A. Leonhardt

1.	<u>EINLEITUNG</u>	<u>1</u>
1.1.	DIE INTRAMEDULLÄRE NAGELUNG UND DIE ESIN	1
1.2.	DIE ESIN BEI KINDLICHEN UNTERARMFRAKTUREN	2
1.3.	DAS ESIN OPERATIONSVERFAHREN.....	3
1.4.	DAS BIOMECHANISCHE KONZEPT DER ESIN	5
1.5.	IMPLANTATE	6
1.6.	KOMPLIKATIONEN	7
1.7.	RATIONAL DIESER DISSERTATION	9
3.	<u>MATERIAL UND METHODEN</u>	<u>11</u>
3.1.	STUDIENDESIGN.....	11
3.2.	BEWERTUNGSVERFAHREN ZUR ERHEBUNG DER POSTOPERATIVEN ERGEBNISSE VON UNTERARMFRAKTUREN	11
3.2.1.	DASH SCORE	11
3.2.2.	MAYO WRIST SCORE	13
3.2.3.	MARBURGER ERHEBUNGSBOGEN	14
4.	<u>ERGEBNISSE</u>	<u>15</u>
4.1.	RÜCKLAUF DER UMFRAGE	15
4.2.	ERGEBNISSE DER TELEFONISCHEN UMFRAGE	16
4.3.	ERGEBNISSE DES DASH FRAGEBOGENS	18
4.4.	ERGEBNISSE DES MAYO WRIST SCORES	21
4.5.	ERGEBNISSE DES MARBURGER ERHEBUNGSBOGENS.....	24
5.	<u>DISKUSSION</u>	<u>25</u>
5.1.	WEITERE BEWERTUNGSVERFAHREN FÜR DAS POSTOPERATIVE ERGEBNIS	26
5.2.	VORTEILE UND NACHTEILE DER ESIN	29
5.3.	ERGEBNISSE INTRAMEDULLÄRER NAGELUNG NACH KINDLICHEN UNTERARMFRAKTUREN	31
5.4.	ZEITLICHER ABSTAND ZWISCHEN OPERATION UND ABSCHLIEßENDER BEWERTUNG	32
5.5.	BEANTWORTUNG DER FRAGEBÖGEN.....	33
5.6.	DASH SCORE.....	34
5.7.	REFRAKTUREN.....	37
5.8.	MAYO WRIST SCORE	38
5.9.	MARBURGER ERHEBUNGSBOGEN.....	39
6.	<u>ZUSAMMENFASSUNG.....</u>	<u>41</u>
7.	<u>ABSTRACT.....</u>	<u>42</u>
8.	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	<u>43</u>
9.	<u>ANHANG.....</u>	<u>49</u>
9.1.	FORMELVERZEICHNIS	49
9.2.	TABELLENVERZEICHNIS	49
9.3.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	50
9.4.	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	50
9.5.	DASH SCORE FRAGEBOGEN	51
9.6.	MAYO WRIST SCORE FRAGEBOGEN	55
9.7.	TABELLARISCHER LEBENS LAUF	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.

9.8.	VERZEICHNIS DER AKADEMISCHEN LEHRER	57
9.9.	DANKSAGUNG.....	58
9.10.	EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.

Meinem lieben Ehemann der mich durch alle Höhen und Tiefen begleitet hat und mir stets eine große Stütze gewesen ist.

1. Einleitung

Unterarmfrakturen zählen zu den häufigsten Frakturen bei Kindern (Aidelsburger et al., 2006). Die Standardtherapie für kindliche Unterarmfrakturen ist die konservative Therapie (Richter et al., 1998). Bei bestimmten Typen von kindlichen Unterarmfrakturen ist jedoch eine konservative Therapie nicht zielführend (Calder et al., 2003). Wenn eine operative Behandlung notwendig ist, wird heute meist eine Plattenosteosynthese oder eine Elastisch-Stabile Intramedulläre Nagelung (ESIN) angewendet (Smith et al., 2005). Inzwischen ist die ESIN für fast alle diaphysären Frakturen bei Kindern im Alter zwischen 4 und 14 Jahren geeignet (Dietz et al., 2006). Der Vorteil der ESIN gegenüber der konservativen Behandlung ist die frühe Mobilisation und die gegenüber der Plattenosteosynthese geringere Invasivität des Verfahrens (Stedtfeld, 2015).

1.1. Die Intramedulläre Nagelung und die ESIN

Die intramedulläre Nagelung geht auf die Erfindung von Gerhard Küntscher im Jahr 1939 zurück, welcher die erste Nagelung an einer subtrochantären Fraktur durchführte. Die entscheidenden Merkmale von Küntschers Verfahren waren der weit von der Frakturstelle entfernte Einführungspunkt des Nagels und die Verwendung eines Implantates über die volle Länge der Markhöhle (Seligson, 2015). Die Verbindung zwischen Knochen und Implantat wird bei Küntschers System durch Pressdruck hergestellt (Seligson, 2015; Stedtfeld, 2015).

In einer weiteren Entwicklung basierend auf Küntschers intramedullärer Nagelung, führten Ende der 1970er Jahre Jean Prevot und Jean-Paul Metaizeau in Nancy (Frankreich) die ESIN ein (Jubel et al., 2004). Neben der Bezeichnung Elastisch-Stabile Intramedulläre Nagelung wird das Behandlungsverfahren auch mit den Synonymen *Nancy Nagelung* oder *Prevot Nagelung* bezeichnet (Aidelsburger et al., 2006). Dieses von Prevot und Metaizeau entwickelte Verfahren soll speziell den Ansprüchen von kindlichen Frakturen gerecht werden (Weinberg et al., 2008). Der Unterschied der ESIN zu dem Konzept von Küntscher liegt in der Elastizität der verwendeten Nägel. Die von Küntscher eingesetzten Nägel waren rigide. Zudem liegen die Elastisch-Stabilen Intramedullären Nägel flexibel ohne Pressdruck an der Cortex an, während bei der

intramedullären Nagelung nach Küntscher der Nagel mittels Pressdruck an dem Knochen fixiert wird (Jubel et al., 2004; Stedfeld, 2015). Auch bei Elastisch-Stabilen Intramedullären Nägeln wird nach wie vor wie zu Zeiten von Gerhard Küntscher von Nägeln gesprochen, auch wenn der Begriff Stab oder Span zutreffender wäre, da diese keinen Pressdruck mehr ausüben (Stedfeld, 2015).

1.2. Die ESIN bei kindlichen Unterarmfrakturen

Die traditionelle Therapie für stabile und nur gering verschobene Unterarmfrakturen ist der zirkuläre Gipsverband. In den meisten Fällen führt dies zu einem guten Ergebnis, jedoch kann unter bestimmten Umständen eine operative Behandlung notwendig sein (Van der Reis et al., 1998).

Zu den typischen Charakteristika kindlicher Frakturen zählen die Fähigkeit zur spontanen axialen Korrektur, die schnelle Frakturheilung und die hohe Toleranz der benachbarten Gelenke gegenüber Immobilisation. Diese Eigenschaften hängen jedoch stark von der Art der Fraktur, der Lage und dem Alter des Kindes ab (Fernandez et al., 2005). Mit zunehmendem Alter gehen diese Fähigkeiten zurück (Barry und Paterson, 2004). So haben Kinder bis zu einem Alter von 10 Jahren das größte Potential Achsfehler durch das Längenwachstum des Knochens auszugleichen (Jubel et al., 2004). Entsprechend können bei Kindern unter 10 Jahren größere Gradabweichungen und Knochenverschiebung akzeptiert werden, als bei älteren Kindern (Van der Reis et al., 1998). Generell gilt: Je jünger ein Kind ist, desto schneller heilt die Fraktur (Nau et al., 2015). So kann die Heilungszeit weniger als die Hälfte der von Erwachsenen betragen (Dietz et al., 2006). Die ESIN ist sehr gut für Frakturen im Bereich metaphysärer Regionen geeignet, da Verletzungen der Epiphysenfugen bei Kindern im Wachstum unbedingt vermieden werden müssen (Hertlein et al., 2000).

Indikationen für eine Operation sind offene Frakturen (Van der Reis et al., 1998; Dietz et al., 2006), nicht reduzierbare Frakturen, instabile Frakturen, pathologische Frakturen und schlecht verbundene Frakturen (Van der Reis et al., 1998; Houshian und Bajaj, 2005; Van Egmond et al., 2013). Ebenso Achsabweichungen größer als 10 Grad, sowie Einengungen des interossären Raumes. Jedoch führen auch Fehlstellungen kleiner als 10 Grad zu Funktionsdefiziten, wenn hierbei der interossäre Raum eingeengt wird. Hinzu

kommt, dass instabile Frakturen im proximalen Teil des Unterarms oft schlechte Ergebnisse bei konservativer Behandlung erzielen (Richter et al., 1998). Ein weiterer Grund für das Versagen der konservativen Behandlung kann beispielsweise ein drückender Gipsverband sein (Versteken et al., 1998). Refrakturen sind ebenso eine Operationsindikation, da durch den Muskelschwund eine erneute Immobilisierung vermieden werden sollte (Dietz et al., 2006). Es ist jedoch wichtig, bei der Behandlung kindlicher Unterarmfrakturen mehrmalige Repositionen zu vermeiden, da hierbei die Fehlstellungsrate zunimmt (Hertlein et al., 2000).

Keine Indikation für die Anwendung der ESIN besteht dagegen bei distalen metaphysären Frakturen, offenen Frakturen III. Grades, sowie stabilen Grünholzfrakturen unterhalb des 5. Lebensjahres. Weitere Kontraindikationen sind undislozierte instabile Frakturen, welche keiner Reposition bedürfen (Weinberg et al., 2008). Die Anwendung der ESIN ist ebenfalls nicht möglich, wenn die Fraktur zu proximal oder distal liegt, um eine ausreichende Fixierung des Nagels zu ermöglichen (Weinberg et al., 2008). Weitere Kontraindikationen sind Trümmerfrakturen mit mehreren Fragmenten, Wundinfektionen oder wenn der Durchmesser der Markhöhle kleiner als 3 mm ist (Nijs et al., 2015). Ebenso kann eine intramedulläre Schienung nicht erfolgen, wenn interponierende Weichteile eine geschlossene Reposition verhindern. Hier ist eine offene Reposition der Fraktur notwendig (Hertlein, et al., 2000).

1.3. Das ESIN Operationsverfahren

Es gibt eine Vielzahl von Operationsverfahren für den Einsatz der ESIN bei kindlichen Unterarmfrakturen. Während alle Verfahren in den Grundlagen ähnlich sind, gibt es in den Details erhebliche Unterschiede.

Vor der Einführung in die Markhöhle muss der Nagel mit einer Biegung, welche das Dreifache des Markhöhlendurchmessers beträgt, vorgebogen werden. Die Nagelung beginnt primär beim Radius. Hierzu wird mit einem Pfriem, der direkt auf das *Tuberculum dorsale radii* gesetzt wird, die Markhöhle aufgebohrt. Der Nagel wird mit Hilfe des Einschlaginstrumentes in die Markhöhle eingebracht und manuell unter Drehen bis zur Frakturstelle vorgeschoben. Nun wird der Radius reponiert und die Nagelspitze mit dem Einschlaginstrument über die Frakturlinie bis zum Olekranon

vorgeschieben. Nach der Reposition des Radius erfolgt die Reposition der Ulna normalerweise spontan. Nachdem hier ebenfalls der Nagel eingebracht wurde, wird er mit dem Einschlaginstrument über die Frakturlinie vorgeschoben. Beide Nagelspitzen werden in die Richtung der *Membrana interossea antebrachii* ausgerichtet, um eine maximale Aufspannung selbiger zu erreichen und in der jeweiligen Metaphyse positioniert. Anschließend werden die beiden Drähte mit 1 cm Überstand vom Knochen abgetrennt und umgebogen (Dietz et al., 2006).

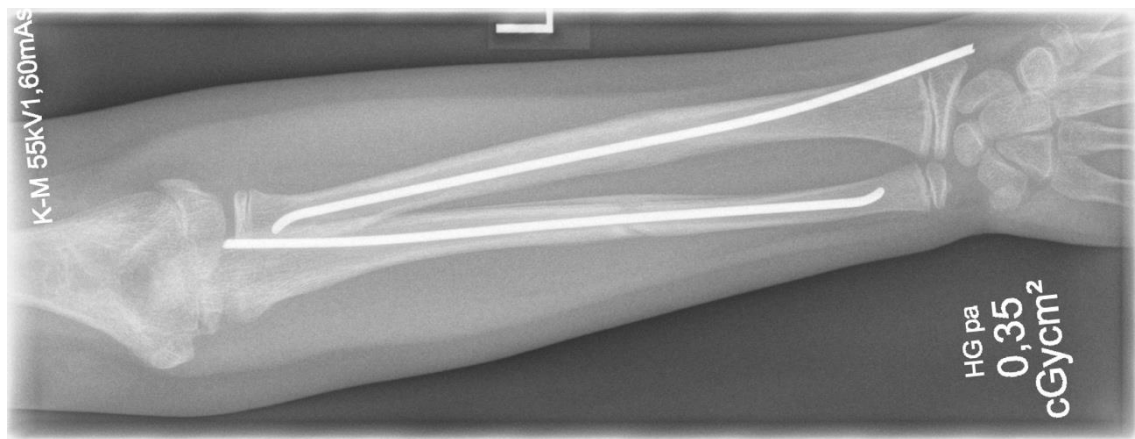


Abbildung 1: ESIN bei 9-jährigem Mädchen mit retrograder Nagelung des Radius und antegrader Nagelung der Ulna.

Nach der OP muss ein genauer Rotationsvergleich der beiden Extremitäten durchgeführt werden (Dietz et al., 2006).

Der überwiegende Teil der Autoren erachtet eine Immobilisierung des Armes nicht als notwendig an (Lascombes et al., 1990; Richter et al., 1998; Griffet et al., 1999; Mann et al., 2003; Fernandez et al., 2005; Dietz et al., 2006; Weinberg et al., 2008) und sehen stattdessen eine Versorgung mit Schlauchverband, Pflasterverband oder Bandage als ausreichend an. Einige Autoren sind dagegen der Auffassung, dass eine Fixierung mit einem zirkulären Gipsverband notwendig sei (Calder et al., 2003; Houshian und Bajaj, 2005; Altay et al., 2006).

Postoperativ ist ein äußerer Kallus ab der 3. Woche nach ESIN sichtbar und entspricht dem einer konservativen Behandlung (Lascombes et al., 1990). Nach 4-5 Wochen ist eine Röntgenkontrolle zur Beurteilung der knöchernen Durchbauung notwendig (Weinberg

et al., 2008). Ein postoperatives Management ist auch bei fehlender Immobilisierung angebracht (Dietz et al., 2006), während eine Rehabilitation nicht notwendig ist (Verstreken et al., 1988).

Mann et al. (2003) berichten, dass die Patienten schnell schmerz- und beschwerdefrei sind und dass 1-2 Wochen nach der OP die normale Funktion des Armes wiederhergestellt ist. Nach 10 Monaten ist die Konsolidierung des Knochens abgeschlossen. Bleibt eine Konsolidierung jedoch aus, sollte schnell korrigiert werden (Dietz et al., 2006). Falls blockierende Achsenfehlstellungen auftreten muss eine Korrektur erfolgen da diese sich in der Regel nicht auswachsen (Weinberg et al., 2008).

1.4. Das biomechanische Konzept der ESIN

Das Ziel der Behandlung diaphysärer Unterarmfrakturen ist die Wiederherstellung von Armlänge und –achse, sowie das Erreichen der Axial- und Rotationsstabilität. Um die normale Pronation und Supination des Unterarmes zu erhalten, muss das anatomische Verhältnis zwischen Radius und Ulna unter besonderer Berücksichtigung des Radiusbogens wiederhergestellt werden (Nijs et al., 2015). Das Operationsziel der ESIN ist bei Unterarmfrakturen die Stabilisierung von Radius und Ulna sowie die physiologische Aufspannung des interossären Raumes (Weinberg et al., 2008).

Die ESIN basiert auf zwei gebogenen, unter Spannung stehenden Nägeln, welche gegenläufig in der Markhöhle ausgerichtet sind. Hierdurch wird das Biegemoment mit gleicher Kraft und gegenläufiger Ausrichtung kompensiert und hierdurch die Fraktur stabilisiert (Barry und Paterson, 2004; Berger et al., 2005). Bei Unterarmfrakturen spannen die Nägel in Ulna und Radius die *Membrana interossea antebrachii* auf und bedingen so die Stabilität des Systems. Entsprechend wird in beide Knochen nur je ein Nagel eingebracht (Jubel et al., 2004; Dietz et al., 2006). Mikrobewegungen sind durch die elastische Nagelung möglich und induzieren so die Kallusbildung (Jubel et al., 2004; Berger et al., 2005).

Ein Teil der Stabilität der ESIN kommt auch von den umgebenden Muskeln und Weichteilen. Entsprechend sind Multifragmentfrakturen und Frakturen, assoziiert mit starker Gewebeerletzung schwerer, mit der ESIN zu behandeln (Dietz et al., 2006).

Eine korrekt durchgeführte ESIN erzeugt die folgenden biomechanischen Eigenschaften: Biegestabilität, axiale Stabilität, Translationsstabilität, Rotationsstabilität (Dietz et al., 2006).

Mann et al. (2003) stellen fest, dass die Dreipunktstützung des Implantates, wie von dem zugrundeliegenden biomechanischen Prinzip postuliert, sich in der Realität als schwierig darstellbar erweist. So ergab die Untersuchung von Patienten mit Röntgenaufnahmen, dass bei 14,8% der Patienten keine gegenläufige Implantatabstützung vorlag (zu dicke Implantate bzw. fehlerhafte Implantatausrichtung), ohne dass es zu Problemen geführt hätte. Deshalb schlussfolgern Mann et al. (2003), dass bei Unterarmschaftfrakturen zuerst die achsgerechte intramedulläre Stellung und die damit verbundene Aufspannung der *Membrana interossea antebrachii* und erst in zweiter Linie die gegenläufige Dreipunktstützung entscheidend ist. Die Kallusbildung nach der ESIN entspricht der einer konservativen Behandlung (Verstreken et al., 1988).

1.5. Implantate

Die Implantate für die ESIN lassen sich in 3 Gruppen einteilen: Spezielle Elastisch-Stabile Nägel, Kirschnerdrähte, sowie als selten verwendete Lösungen *Rush Rods* und *Steinmann Nägel* (Barry und Paterson, 2004; Smith et al., 2005). Beispiele für elastisch-stabile Nägel sind die Produkte von *DePuy Synthes Trauma* (TEN/STEN – Elastisches Nagelsystem aus Titan/Stahl) oder *Smith and Nephew* (ForeSight Nail System). Die Wahl des Implantats ist abhängig von den Vorlieben des Operateurs (Kelly et al., 2016).

Ein ausreichender Durchmesser des Nagels ist von hoher Bedeutung für den Heilerfolg (Fernandez et al., 2010). Der Durchmesser des Marknagels sollte zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$ des Durchmessers der Markhöhle betragen (Richter et al., 1998; Mann et al., 2003; Dietz et al., 2006; Weinberg et al., 2008; Fernandez et al., 2010). Somit liegt der Durchmesser der Nägel zur Behandlung kindlicher Frakturen zwischen 1,5 und 2,5 mm (Lascombes et al., 1990; Verstreken et al., 1998; Calder et al., 2003; Houshian und Bajaj, 2005; Altay et al., 2006; Weinberg et al., 2008).

Das Implantat sollte eine gebogene Spitze haben und über die gesamte Länge vorgebogen sein (Lascombes et al., 1990). Die gebogene Spitze stellt ein gutes Gleiten

des Nagels sicher und verhindert ein Abschleifen des gegenüberliegenden Cortex (Verstreken et al., 1988; Lascombes et al., 1990). Die Länge der Spitze muss adäquat zu dem Durchmesser des Nagels sein, um zu gewährleisten, dass die Spitze gut in die Markhöhle eingeführt werden kann (Dietz et al., 2006). Neben der gebogenen Spitze ist das richtige Vorbiegen der Nägel durch den Operateur von besonderer Bedeutung, da dies den nötigen 3-Punkt Kontakt zwischen Nagel und Knochen herstellt (Barry und Paterson 2004; Dietz et al., 2006).

Die notwendige Länge des Nagels muss anhand der Röntgenaufnahmen präoperativ bestimmt werden (Barry und Paterson, 2004).



Abbildung 2: Elastisch-Stabile Intramedulläre Nägel in verschiedenen Stärken.

1.6. Komplikationen

Die ESIN ist ein im Allgemeinen komplikationsarmes Behandlungsverfahren (Lascombes et al., 1990). Jedoch ist die Komplexität der ESIN für den Operateur strittig. So sehen Dietz et al. (2006) als eine wichtige Ursache von Komplikationen unzureichend geschulte Operateure an. Gerade weil das Verfahren als so einfach erscheint, wird es teilweise auch unter Missachtung der zugrundeliegenden biomechanischen Prinzipien angewendet, was zu unbefriedigenden Ergebnissen führt. Sie machen darauf

aufmerksam, dass es sich in diesen Fällen nicht um einen Fehler des Verfahrens, sondern um einen Fehler des Operateurs handelt. Ähnlich erachten Lascombes et al. (1990) die ESIN als nicht so einfach zu erlernen an, wie es erscheinen mag, weswegen viele Operateure enttäuschende Ergebnisse erzielen. Dagegen sind Fernandez et al. (2010) der Auffassung, die ESIN sei einfach zu erlernen und die meisten Komplikationen seien durch eine Verletzung der zugrundeliegenden biomechanischen Prinzipien bedingt. Häufige Ursachen für Komplikationen sind für die ESIN ungeeignete Frakturen, sowie zu alte Kinder (Dietz et al., 2006).

Eine häufige, aber auch besonders kritische Komplikation von ESIN ist der Rotationsverlust (Smith et al., 2005; Fernandez et al., 2010). Dieser tritt vor allem bei Frakturen im distalen Drittel des Unterarmes auf, da hier das Fragment zu kurz ist und der Knochen so nicht ausreichend vom Nagel gehalten werden kann (Smith et al., 2005). Bedingt durch diese Instabilität des distalen Fragmentes kann es so zu einem Rotationsverlust am ausgeheilten Arm kommen. Entsprechend empfehlen Fernandez et al. (2010) bei Frakturen im distalen Drittel des Unterarmes für die ersten 2-4 Wochen postoperativ einen zirkulären Gipsverband anzulegen, um so die notwendige Stabilität herzustellen. Auch in diesem sehr kritischen Bereich ist eine korrekt durchgeführte ESIN der Plattenosteosynthese bzw. einem externen Fixateur überlegen (Dietz et al., 2006; Fernandez et al., 2010). Andere Ursachen für eine geringe Stabilität der ESIN sind eine falsche Positionierung der Nagelspitzen bzw. eine unzureichende Verankerung im Knochen. Aber auch ein fehlender Kontakt zwischen Nagel und Knochen sowie ein zu dünner Nagel mit einer geringen Stabilität, kann zu einem unbefriedigenden Ergebnis führen (Richter et al., 1998; Smith et al., 2005; Dietz et al., 2006; Fernandez et al., 2010). Weitere mögliche Komplikationen sind Nerven- und Weichteilschäden, Infektionen, eine Sehnenruptur des *Musculus flexor pollicis longus*, sowie Parästhesien im Daumengrundgelenk aufgrund einer Schädigung des *Ramus superficialis nervi radialis* (Hertlein et al., 2000; Jubel et al., 2004; Weinberg et al., 2008). Die Schädigung des *Ramus superficialis nervi radialis* kann sowohl beim Einbau des Implantates, als auch bei der Metallentfernung geschehen (Fernandez et al., 2010). Jedoch sind nach Auffassung von Lidder et al. (2011) intraoperative, iatrogene Nervenverletzung als Ergebnis der ESIN extrem selten.

Bei der Positionierung des Nagelkopfes ist wichtig, diesen oberflächenparallel mit geringem Überstand zum Knochen auszurichten. Andernfalls kann der überstehende Nagelkopf zu Beschwerden bis hin zur Hautperforation führen. Falls dennoch Beschwerden auftreten, sind mögliche Therapien das Einkürzen des Nagels und eine frühzeitige Implantatentfernung (Barry und Paterson, 2004; Jubel et al., 2004).

Wie bei allen Frakturen kann es postoperativ zur Pseudoarthrose und Osteomyelitis kommen (Jubel et al., 2004; Dietz et al., 2006; Weinberg et al., 2008). Falls eine proximale Einführung des Nagels gewählt wurde, kann dies nach Auffassung von Verstreken et al. (1988) zu Druckschmerz im Ellenbogen führen.

Refrakturen können durch eine zu frühe Entfernung der Marknägel oder durch zu dünne Durchmesser der Marknägel bei Versorgung der Fraktur bedingt sein. Ein weiterer typischer Grund für Refrakturen sind Hochrasanztraumata (Griffet et al., 1999; Weinberg et al., 2008).

Nach einer Refraktur müssen die verbogenen Marknägel entfernt werden und nach Reposition der Fraktur durch einen neuen Nagel ersetzt werden (Griffet et al., 1999; Weinberg et al., 2008). Die Anzahl der Refrakturen ist bei ESIN gering und wird von Van Egmond et al. (2013) mit 2,3% und von Kelly et al. (2016) mit 1,2% beziffert.

1.7. Rational dieser Dissertation

Die Bewertung der Ergebnisse der ESIN wurde 1-4 Jahre nach der operativen Behandlung von verschiedenen Autoren vorgenommen (Verstreken et al., 1988; Lascombes et al., 1990; Richter et al., 1998; Van der Reis et al., 1998; Mann et al., 2003; Jubel et al., 2004; Houshain und Bajaj, 2005; Fernandez et al., 2010; Behnke et al., 2012). Bisher sind jedoch keine Studien veröffentlicht worden, welche das Operationsverfahren über einen längeren Zeitraum (größer 4 Jahre) bewerten. Eine finale Bewertung der ESIN kann jedoch nur am adulten Patienten erfolgen, da Interaktionen zwischen Behandlungsverfahren und Wachstum andernfalls nicht berücksichtigt werden.

Die vorliegende Untersuchung hat das Ziel, die langfristigen Ergebnisse der ESIN zu bewerten. Hierzu wurden alle kindlichen Unterarmfrakturen nach ESIN im Zeitraum von

2000-2007, welche am Universitätsklinikum Marburg durchgeführt wurden, untersucht und ausgewertet.

3. Material und Methoden

3.1. Studiendesign

Im Zeitraum von 2000 bis 2007 wurden am Universitätsklinikum Marburg 127 Behandlungen mit ESIN an 122 individuellen kindlichen Patienten vorgenommen. Zur Bewertung des langfristigen Operationserfolgs wurden der DASH Score, der Mayo Wrist Score und der Marburger Erhebungsbogen verwendet. Entsprechend wurde allen Patienten der DASH Fragebogen zugesendet und sie wurden zu einer Nachuntersuchung am Universitätsklinikum Marburg einbestellt, um den Mayo Wrist Score und die Daten des Marburger Erhebungsbogens zu erheben. Patienten, die postalisch nicht erreichbar waren, wurden telefonisch zur Vereinbarung eines Termins kontaktiert. Wenn der Patient nicht bereit war, für eine Nachuntersuchung am Universitätsklinikum Marburg zu erscheinen, wurde dem Patienten angeboten, die Untersuchung in seiner Wohnung durchzuführen. Falls der Patient hierzu ebenfalls nicht bereit war, wurde der Patient um eine telefonische Beantwortung der Fragen des DASH Scores, des Mayo Wrist Scores und des Marburger Erhebungsbogens gebeten.

Die erzielten Ergebnisse wurden mit den Resultaten anderer Untersuchungen verglichen und deskriptiv dargestellt.

3.2. Bewertungsverfahren zur Erhebung der postoperativen Ergebnisse von Unterarmfrakturen

3.2.1. DASH Score

Der DASH Score (Disabilities of the arm, shoulder and hand) ist ein Fragebogen, welcher am kanadischen *Institute for Work & Health* (Toronto) entwickelt wurde (Hudak et al., 1996). Der Fragebogen erfasst die Einschränkung bei verschiedenen Tätigkeiten des täglichen Lebens nach einer Operation im Bereich des Armes, der Schulter und der Hand. Der DASH Fragebogen liegt in zwei Versionen vor: Die Normalversion hat 30 Fragen im Hauptmodul (Arm, Schulter und Hand) und jeweils 4 in den beiden optionalen Modulen Sport und Musik, sowie Arbeit und Beruf. Die andere Version ist eine Kurzform des DASH (QuickDash), welche 11 Fragen mit 8 Zusatzfragen beinhaltet. Die Beantwortung der

Fragen erfolgt jeweils durch den Patienten selber (Institute of Work and Health, 2017). Während das Original in englischer Sprache vorliegt, wurde die Anwendungsreife der deutschen Übersetzung des Fragebogens von Germann et al. (2003) bestätigt. Die Berechnung des DASH Scores erfolgt gemäß Formel 1.

Das Hauptmodul des DASH Scores wurde von verschiedenen Autoren zur Bewertung der postoperativen Ergebnisse von intramedullären Nagelungen verwendet. So wurde der DASH Score zur Bewertung der Behandlung von Klavikulafrakturen mit intramedullärer Nagelung verwendet (Jubel et al., 2004; Müller et al., 2007; Kettler et al., 2007; Smekal et al., 2009; Andrade-Silva et al., 2015). Ebenso verwendeten Cavanese et al. (2017) den DASH Score zum Bewerten der Ergebnisse von kindlichen Humerusfrakturen nach ESIN. Khan et al. (2014) verwendeten den QuickDash, um das Behandlungsergebnis kindlicher Humerusfrakturen zu bewerten.

Müller et al. (2013) verwendeten den DASH Score zum Bewerten der Ergebnisse nach intramedullärer Nagelung von Mittelhandfrakturen. Ebenso wurde der DASH Score zur Bewertung von Radiusfrakturen nach intramedullärer Nagelung bzw. Plattenosteosynthese verwendet (Ilyas und Thoder, 2008; Lerch et al., 2009; Chappuis et al., 2011; Nishiwaki et al., 2011; Saka et al., 2014a; Saka et al., 2014b) und zur Bewertung von intramedullären Behandlungen von Frakturen der Unterarme (Weckbach et al., 2006; Köse et al., 2014; Kim et al., 2015).

De Haan et al. (2010) verwendeten den DASH Score zum Bewerten von luxiertem Ellenbogen. Frank et al. (2010) verwendeten ebenfalls den DASH Score, um die Ergebnisse nach Kreissägenverletzungen der Hand zu bewerten.

$$DASH\ score = \left[\left(\frac{\text{Summe der } n \text{ Antwortpunkte}}{n} \right) - 1 \right] * 25$$

n: Anzahl der beantworteten Fragen

Formel 1: Berechnung DASH Score.

Die Anzahl der Fragen unterscheidet sich beim DASH Score und Quick DASH Score, während die Bewertung der Ergebnisse identisch ist.

Der DASH Score ermöglicht einen besseren Vergleich der Ergebnisse durch die Skalierung der Ergebnisse von 0-100. Ein DASH Score von 0 bedeutet ein optimales Ergebnis ohne Schmerzen oder Behinderung. Ein DASH Score von 100 bedeutet maximale Behinderung und Schmerz (Institute of Work and Health, 2017).

3.2.2. Mayo Wrist Score

Der Mayo Wrist Score wurde von Cooney et al. (1987) an der Mayo Klinik in Rochester (USA) entwickelt, um wichtige Funktionsparameter nach einer Operation bewerten zu können. Dies sind: Schmerz, Funktionsstand, Bewegungsumfang und Griffstärke.

Bei jedem der 4 Parameter kann der Patient in 6 Stufen (0, 5, 10, 15, 20, 25) das Ergebnis bewerten. 25 ist das optimale Ergebnis und 0 das schlechteste. Es werden alle vier Einzelwerte aufaddiert und ergeben so den Mayo Wrist Score. Dieser Wert ist ein funktioneller Mischscore und ermöglicht die Bewertung des Zustandes des Armes nach der Operation (Tabelle 1).

Tabelle 1: Bewertung der Ergebnisse des Mayo Wrist Score (Cooney, 1987).

Mayo Wrist Score	Bewertung
90-100	Sehr gut
80-90	Gut
65-80	Befriedigend
Kleiner 65	Schlecht

Der Mayo Wrist Score wurde von verschiedenen Autoren verwendet, um intramedulläre Nagelungen bei Radiusfrakturen zu bewerten (Chappuis et al., 2011; Wakasugi und Shiraska, 2016; Chen et al., 2017). Ebenso wurde dieser zum Bewerten von distalen Humerusfrakturen verwendet (Burkhart et al., 2011).

Neben der getrennten Verwendung von DASH Score und Mayo Wrist Score werden auch beide Score Werte zusammen verwendet. So verwendeten Rampoldi und Mariso (2010), Chappuis et al. (2011) und Nishiwaki et al. (2011) beide Scores zur Bewertung von intramedullärer Nagelung bzw. Plattenosteosynthese von Radiusfrakturen.

3.2.3. Marburger Erhebungsbogen

Der Marburger Erhebungsbogen wurde von Krüger (2016) in Marburg entwickelt, um detailliert alle wichtigen Parameter über das Wohlbefinden der Patienten nach Unterarmfrakturen zu erheben. Im Gegensatz zu dem DASH Score und dem Mayo Wrist Score wird jedoch kein Score Wert errechnet, sondern es werden nur allein postoperativ Daten und Informationen erhoben.

4. Ergebnisse

4.1. Rücklauf der Umfrage

Es wurden in dem Zeitraum von 28.02.2000-22.06.2007 127 Behandlungen von kindlichen Unterarmfrakturen mittels ESIN am Universitätsklinikum Marburg dokumentiert.

Hiervon war eine Patientin (Patient Nummer 81, 82) zweimal für die gleiche Behandlung erfasst worden. 4 Patienten erlitten Refrakturen und wurden erneut operiert. Insgesamt wurden somit 122 individuelle Patienten behandelt.

Alle 122 Patienten wurden angeschrieben und um Beantwortung des DASH Scores, des Mayo Wrist Scores und des Marburger Erhebungsbogens gebeten. 20 Patienten sendeten den ausgefüllten Fragebogen zurück und erklärten sich schriftlich zu einer Nachuntersuchung bereit. 2 Patienten verweigerten eine Nachuntersuchung. Bei der telefonischen Kontaktaufnahme zwecks einer Terminvereinbarung für eine Nachuntersuchung war von den 18 Patienten lediglich einer bereit, einen Termin für eine Nachuntersuchung zu vereinbaren, und dies auch nur in seinem Büro. Somit war kein Patient bereit, für eine Nachuntersuchung im Universitätsklinikum Marburg zu erscheinen.

Tabelle 2: Bereitschaft Patienten zu Nachuntersuchungen.

Position	Ergebnis	Anzahl
A	Patienten angeschrieben und DASH Fragebogen zugesendet. Patienten um Vereinbarung eines Termins für eine Nachuntersuchung gebeten	122
B	Patienten aus A unbekannt verzogen	23
C	Anzahl Fragebogen aus A erfolgreich zugestellt	99
D	Patienten aus C antworten nicht	79
E	Patienten aus C senden den DASH Fragebogen ausgefüllt zurück	20
F	Patienten von E erklären sich bereit an Nachuntersuchung teilzunehmen	18
G	Patienten aus E gaben ungültige Kontaktdaten an	3
H	Patienten aus F waren trotz vorheriger Zustimmung nicht bereit einen Termin für eine körperliche Untersuchung zu vereinbaren	14
I	Patienten aus E, mit welchen ein Termin für eine körperliche Untersuchung vereinbart werden konnte	1

Entsprechend wurden alle Patienten nochmals telefonisch kontaktiert, um die Antworten für den DASH Score, den Mayo Wrist Score und den Marburger Erhebungsbogens zu erfassen. Insgesamt konnten so bei 90 Patienten der DASH Score, der Mayo Wrist Scores und der Marburger Erhebungsbogens telefonisch ausgefüllt werden.

Tabelle 3: Ergebnis telefonische Befragung Patienten.

Ergebnis	Anzahl
Patienten angerufen und um telefonische Beantwortung des Fragebogens gebeten	122
Patienten mit ungültiger Telefonnummer	31
Patienten, welche sich weigerten den Fragebogen telefonisch zu beantworten	1
Patienten, welche die Fragebögen telefonisch beantworteten	90

4.2. Ergebnisse der telefonischen Umfrage

Bei den 90 Patienten, welche die telefonische Umfrage beantworteten betrug das durchschnittliche Alter bei der Operation 8,3 Jahre. Das Minimalalter lag bei 1 Jahr und das maximale Alter bei 18 Jahren. 61 Patienten (67,8%) waren männlich, 29 Patienten (32,2%) weiblich. 33 Patienten (36,7%) Frakturen befanden sich am linken Arm und 57 (63,3%) am rechten Arm.

Die Frakturmuster verteilen sich gemäß Tabelle 4.

Tabelle 4: Verteilung der Frakturmuster.

Frakturtyp	Anzahl	Anteil (%)
Unterarmschaftfraktur	71	78,9
Distale Unterarmschaftfraktur	9	10
Radiusschaftfraktur	3	3,3
Monteggia-Fraktur	2	2,2
Ulnaschaftfraktur	2	2,2
Ulnaschaftfraktur 1 Grad offen	3	3,3

Die Zahl der Refrakturen und der Zeitabstand zur Metallentfernung verteilt sich gemäß Tabelle 5.

Tabelle 5: Patienten mit Refrakturen.

Patientennummer	Abstand zwischen Fraktur und Refraktur (Tage)	Ereignis der Refraktur nach Metallentfernung (Tage)
7, 25	445	354
88, 101	113	56
6, 37	692	568

Der durchschnittliche Zeitabstand zwischen der primären operativen Versorgung und der Metallentfernung betrug 78,4 Tage. Der minimale Abstand lag bei 14 Tagen, während der maximale bei 207 Tagen lag.

Die Ursache der Frakturen verteilt sich gemäß Tabelle 6.

Tabelle 6: Verteilung der Frakturursachen.

Ursachen Fraktur	Anzahl	Anteil (%)
Sturz beim Spielen	53	58,9
Sturz beim Sport	14	15,6
Sonstiger Sturz	13	14,4
Verkehrsunfall	1	1,1
Sturz aus Schaukel	7	7,8
Sturz aus Bett	2	2,2

Die verwendeten Operationsverfahren verteilen sich gemäß Tabelle 7.

Tabelle 7: Operationsverfahren.

Operationsverfahren	Anzahl	Anteil (%)
Prevotnagel in Ulna und Radius	71	78,9
Prevotnagel nur in Ulna	4	4,4
Prevotnagel nur in Radius	4	4,4
Prevotnagel in Ulna, K-Draht in Radius	4	4,4
Prevotnagel in Ulna, Platte in Radius	6	6,7
Reposition mit Draht	1	1,1
Platte in Ulna, Prevotnagel in Radius	0	0

Bei 5 Patienten (5,6%) war eine offene Reposition notwendig, und bei 85 Patienten (94,4%) war eine geschlossene Reposition möglich.

Postoperativ betrug der durchschnittliche stationäre Aufenthalt der Patienten 2,4 Tage. Der minimale Aufenthalt betrug 1 Tag, während der maximale 5 Tage betrug. Die Operationsparameter verteilten sich gemäß Tabelle 8.

Tabelle 8: Parameter der Operation und der Metallentfernung.

Operationsschritte	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum
ESIN OP (Min.)	36,9	30	115	5
Durchleuchtung (Sek.)	67,1	48,5	239	6
Zeitdifferenz zwischen ESIN Operation und Metallentfernung (Monate)	146	142	108	197
Metallentfernung (Min.)	23,4	21	50	5

4.3. Ergebnisse des DASH Fragebogens

Die beantwortete DASH Module verteilen sich gemäß Tabelle 9.

Tabelle 9: Beantwortung der DASH Module.

DASH Modul	Anzahl Antworten
DASH Score für Behinderung von Arm, Schulter und Hand	90
DASH Score Sport- und Musikmodul	87
DASH Score für Arbeits- und Berufsmodul	85

Die DASH Scores der Module verteilen sich gemäß Tabelle 10.

Tabelle 10: Ergebnisses für den DASH Score.

Modul	MW	Standardab- weichung	Max.	Min.	Häufigkeit	
					Score=0	Score ≠ 0
Behinderung von Arm, Schulter und Hand	0,4	1,45	9,2	0	71	19
Sport und Musik	0,9	5,68	37,5	0	84	3
Arbeit und Beruf	0,3	2,14	18,8	0	83	2

Die Ergebnisse der DASH Scores Behinderung von Arm, Schulter und Hand ungleich 0 verteilen sich gemäß Tabelle 11 und Abbildung 3. Die Ergebnisse des Arbeits- und Berufs- sowie des und Sport- und Musikmoduls verteilen sich gemäß Abbildung 4 und 5.

Tabelle 11: Patienten mit einem DASH Score Behinderung von Arm, Schulter und Hand ungleich 0.

Patientennummer	Score
11	0,83
13	0,83
21	0,83
33	0,83
41	0,83
48	0,83
50	0,83
52	0,83
55	0,83
59	0,83
67	0,83
68	0,83
71	0,83
91	0,83
105	0,83
42	1,67
56	1,67
83	6,9
90	7,5
87	9,17

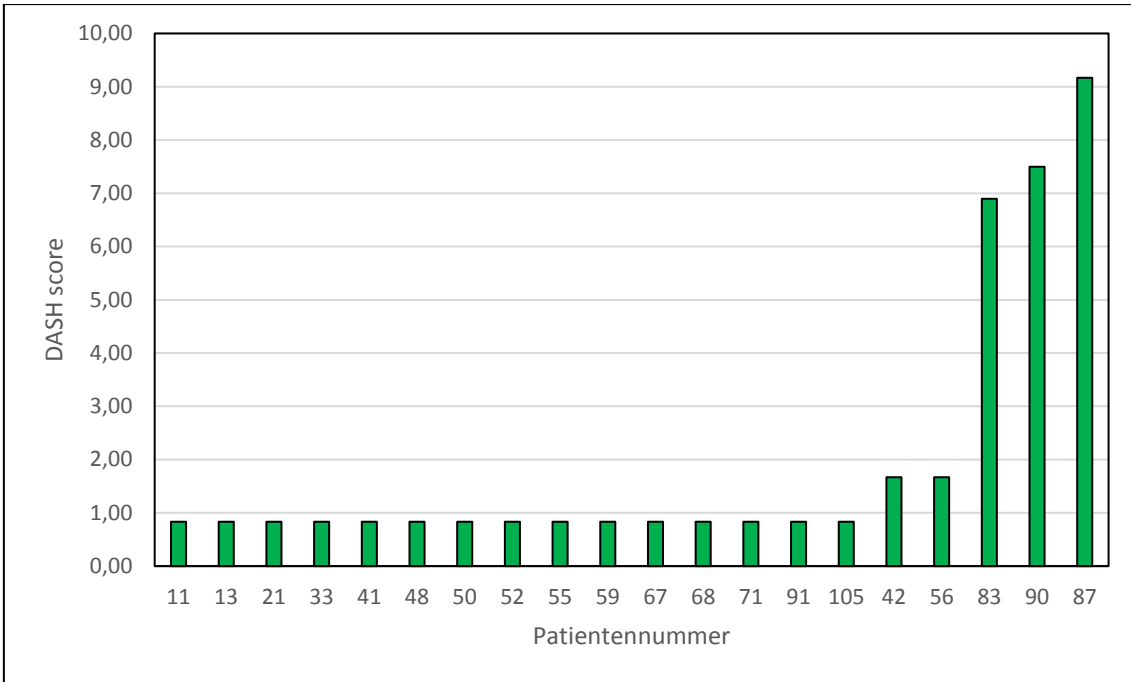


Abbildung 3: Verteilung der DASH Scores Behinderung von Arm, Schulter und Hand.

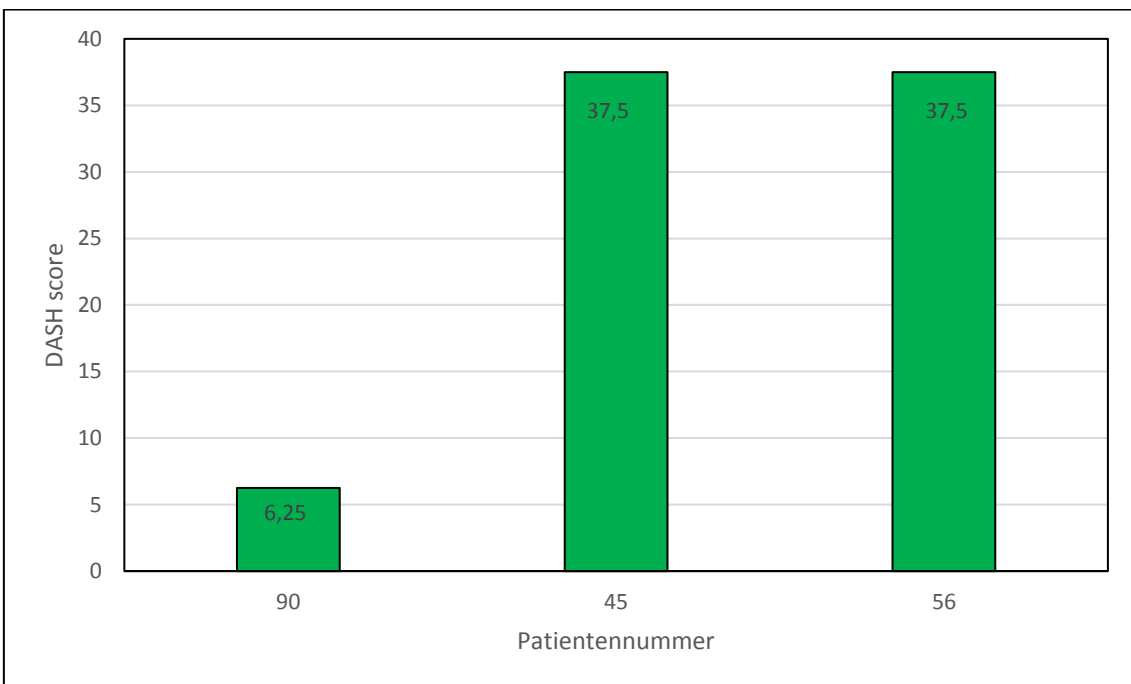


Abbildung 4: Verteilung des DASH Score Sport und Musikmodul.

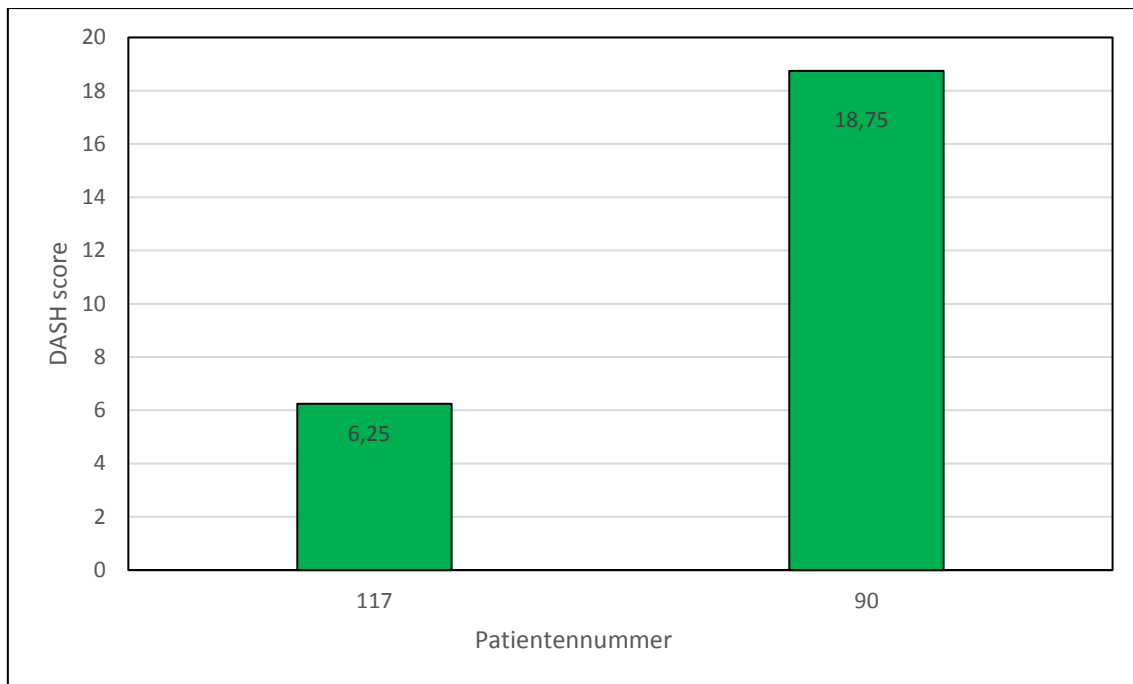


Abbildung 5: DASH Score für Arbeits- und Berufsmodul ungleich 0.

4.4. Ergebnisse des Mayo Wrist Scores

Die Ergebnisse des Mayo Wrist Scores sind in Tabelle 12 und 13 zu finden.

Tabelle 12: Mayo Wrist Score.

Bereich	Mittelwert	Standard- abweichung	Median
Schmerz	24,55	1,43	25
Zufriedenheit	24,44	2,05	25
Bewegungsumfang	24,16	3,55	25
Griffstärke	24,49	2,96	25
Gesamtscore	97,64	7,39	100

Tabelle 13: Einzelergebnisse Mayo Wrist Score.

Bereich	Minimum	Maximum	Häufigkeit	
			Score = 100	Score < 100
Schmerz	20	25	81	8
Zufriedenheit	10	25	81	8
Bewegungsumfang	10	25	82	7
Griffstärke	15	25	84	5
Gesamtscore	70	100	73	16

Die Patienten mit einem Mayo Wrist Score ungleich 100 sind in Tabelle 14 und Abbildung 6 zu finden.

Tabelle 14: Patienten mit Mayo Wrist Score ungleich 100.

Patientennummer	Score	Bewertung
46	95	Sehr gut
50	95	Sehr gut
71	95	Sehr gut
73	95	Sehr gut
75	95	Sehr gut
103	95	Sehr gut
98	90	Sehr gut
105	90	Sehr gut
117	90	Sehr gut
10	85	Gut
15	85	Gut
45	85	Gut
84	80	Gut
56	75	Befriedigend
83	70	Befriedigend
90	70	Befriedigend

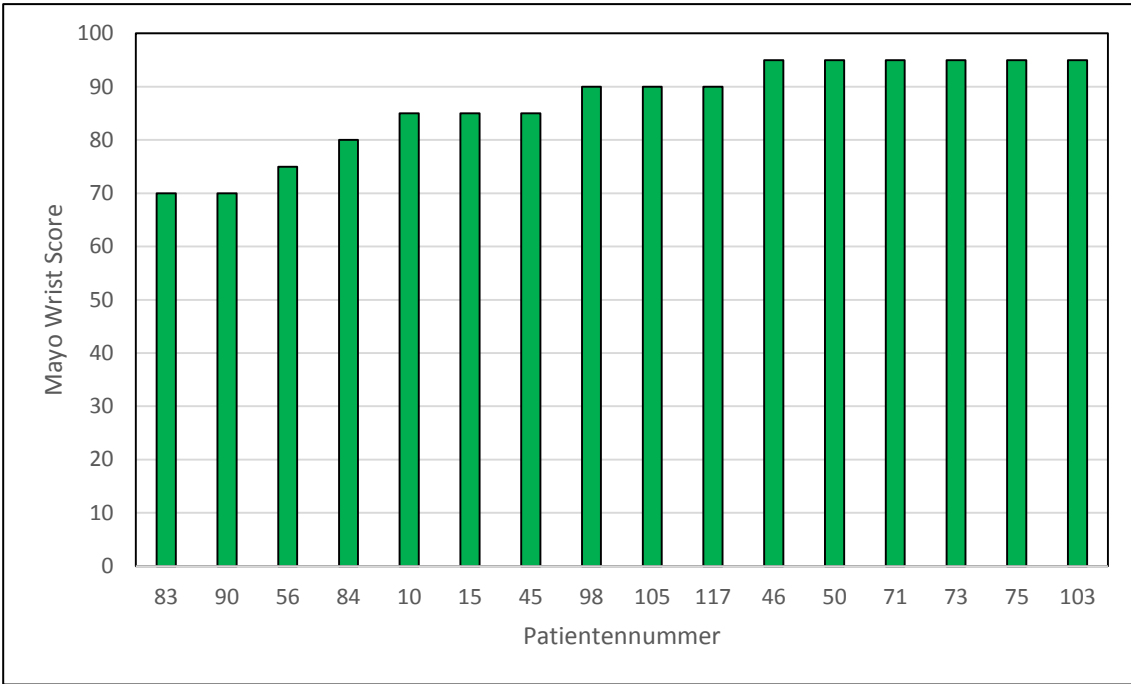


Abbildung 6: Mayo Wrist Score ungleich 0.

4.5. Ergebnisse des Marburger Erhebungsbogens

Die Ergebnisse des Marburger Erhebungsbogens sind in Tabelle 15 zu finden.

Tabelle 15: Ergebnisse Marburger Erhebungsbogen.

Nummer	Fragestellung	Häufigkeit	
		Ja	Nein
1	Können Sie sich an eine Verletzung erinnern?	85	5
2	Sind Sie durch die damalige Verletzung eingeschränkt?	6	84
3	Sieht der ehemals verletzte Arm anders aus als der Gesunde?	10	80
4	Gibt es Unterschiede bei der Beweglichkeit der Arme	12	78
4a	Gibt es Unterschiede bei der Beweglichkeit der Ellbogengelenke?	7	5
4b	Gibt es Unterschiede bei den Umwendbewegungen (Innen/Außenseite)?	9	3
4c	Gibt es Unterschiede bei der Beweglichkeit der Handgelenke?	7	5
4d	Radial/Ulnaabduktion	7	5
5	Gibt es schmerzhafteste Bewegungseinschränkungen?	5	85
6	Nehmen Sie regelmäßig aufgrund der Armverletzung Schmerzmittel ein?	2	88
7	Gibt es Gefühlsstörungen im Seitenvergleich ?	15	75
8	Ist das Gefühl an der Daumen Rückseite seitengleich?	84	6
9	Gibt es Probleme mit den Narben?	6	84
10	DASH komplett ausgefüllt?	90	0
11	War neben der Metallentfernung eine Folgeoperation erforderlich?	5	85

5. Diskussion

Die Operationsverfahren zum Einbringen des intramedullären Implantates unterscheiden sich teilweise deutlich. Einige Autoren (Dietz et al., 2006) halten sich eng an das von dem Hersteller von Implantaten *DePuy Synthes Trauma* (2015) beschriebene Vorgehen. Die meisten beschreiben in ihren Veröffentlichungen jedoch individuelle Vorgehensweisen.

Die Ulna ist ein gerader Knochen, um welchen der Radius sich windet. Entsprechend ist die Ulna als gerader Knochen einfacher mit der ESIN zu behandeln (Nijs et al., 2015). Weinberg et al. (2008) empfehlen mit dem schwerer zu reponierenden Knochen zu beginnen, was nach ihrer Erfahrung meist der Radius ist. Lascombes et al. (1990) und Mann et al. (2003) empfehlen ebenfalls, mit dem schwerer zu reponierenden Knochen zu beginnen. Houshian und Bajaj (2005) nageln dagegen bei Unterarmfrakturen zuerst den Knochen mit der größeren Deformation. Wenn es während der Umwendbewegung zu keinem Rotationsverlust kommt, wird der andere Knochen nicht operiert.

Bei der Nagelführung ist wichtig darauf zu achten, die gebogene Spitze des Nagels vom Knochencortex abgewandt zu führen (Barry und Paterson, 2004). Die Stabilität des Systems wird perioperativ mittels Fluoroskopie geprüft (Verstreken et al., 1998; Barry und Paterson, 2004). Die Fluoroskopie sollte möglichst in zwei Ebenen erfolgen (Fernandez et al., 2005). Bei der Positionierung des Nagels ist auf eine gegenläufige Dreipunktstützung in der Markhöhle zu achten, um die *Membrana interossea antebrachii* aufzuspannen. Anschließend wird der Nagel in der *Substantia spongiosa ossium* verankert (Lascombes et al., 1990; Mann et al., 2003). Fernandez et al. (2005) treiben dagegen den Nagel bis einen Zentimeter unter die proximale Epiphysenplatten. Alternativ können Endkappen für die Nägel verwendet werden, die aber meist nicht zum Einsatz kommen (Dietz et al., 2006).

Wenn offene Frakturen vorliegen, kann eine Wundausschneidung und das Einlegen einer Drainage notwendig sein (Kelly et al., 2016). Bei dem Einschnitt zum Einführen des elastischen Nagels muss peinlichst darauf geachtet werden, die distale Wachstumsfuge nicht zu schädigen (Lascombes et al., 1990).

Falls nach zwei bis drei Repositionsversuchen keine Reposition möglich ist, empfehlen Weinberg et al. (2008) eine offene Reposition der Fraktur, welche über einen weiteren

kleinen Einschnitt erfolgt (Richter et al., 1998). Altay et al. (2006) empfehlen ebenfalls zum Vermeiden von Verletzungen des Gewebes, zügig zu einer offenen Reposition überzugehen. Nach ihrer Einschätzung sind die Auswirkungen eines weiteren kleinen Einschnittes für die offene Reposition weitaus geringer als die Traumata durch mehrfaches Manipulieren an der Frakturstelle. Zudem kann eine exzessive Manipulation des Nagels zu einer reduzierten Stabilität des selbigen führen (Dietz et al., 2006).

Kommt es zu Refrakturen, kann die Markhöhle obliteriert sein und so ein Auffädeln der Fragmente mit einem Titannagel verhindern. Hier kann entweder mit einem angespitzten Kirschnerdraht die verschlossene Markhöhle aufgebohrt werden, oder es kann eine offene Reponierung mit Verwendung eines Bohrers notwendig werden (Weinberg et al., 2008).

5.1. Weitere Bewertungsverfahren für das postoperative Ergebnis

Neben den etablierten DASH und Mayo Wrist Scores verwenden viele Autoren auch selbstentwickelte Bewertungsskalen, um die Ergebnisse von Operationen zu bewerten. Der am häufigsten verwendete messbare Parameter ist der Rotationsverlust.

Calder et al. (2003) bewerten die Ergebnisse von Kirschnerdraht im Vergleich zur ESIN anhand des Rotationsverlustes und der Funktionalität des Unterarmes unter Verwendung der Klassifizierung von Daruwalla (1979) (Tabelle 16). Behnke et al. (2012) bewerten die postoperativen Ergebnisse mit dem Bewertungsverfahren von Grace und Eversman (1980), welches auf der Residualrotation basiert (Tabelle 17).

Tabelle 16: Klassifizierung des Rotationsverlustes von ausgeheilten Unterarmfrakturen von Daruwalla (1979).

Bewertung	Beschreibung
Exzellent	Gleiche Rotation auf beiden Seiten
Gut	Verlust an Unterarmrotation bis zu 20 Grad
Ausreichend	Verlust an Unterarmrotation von 20-40 Grad
Schlecht	Verlust an Unterarmrotation über 40 Grad

Tabelle 17: Klassifizierung der Residualrotation von Behnke et al. (2012) basierend auf Grace und Eversmann (1980).

Beschreibung	Residualrotation nach OP
Exzellent	Grösser gleich 90%

Gut	80-89%
Akzeptabel	60-79%
Unakzeptabel	Kleiner 60%

Altay et al. (2006) verwenden zum Bewerten des Ergebnisses der Operationsmethode eine Modifikation der Methode von Price et al. (1990) (Tabelle 18), welche er geringfügig modifizierte (Tabelle 19).

Tabelle 18: Klassifizierung des Rotationsverlustes von Price et al. (1990).

Bewertung	Beschreibung
Exzellente	Keine Beschwerden bei anstrengenden körperlichen Tätigkeiten und/oder Verlust an Unterarmrotation kleiner/gleich 10 Grad
Gut	Geringe Beschwerden bei anstrengenden körperlichen Tätigkeiten und/oder Verlust an Unterarmrotation 11-30 Grad
Ausreichend	Geringe Beschwerden bei täglichen Aktivitäten und/oder Rotationsverlust von 31-90 Grad
Schlecht	Alle anderen Ergebnisse

Tabelle 19: Klassifizierung des Rotationsverlustes von Altay et al. (2006).

Bewertung	Beschreibung
Exzellente	Keine Beschwerden bei anstrengenden körperlichen Tätigkeiten und/oder Verlust an Unterarmrotation kleiner/gleich 15 Grad
Gut	Geringe Beschwerden bei anstrengenden körperlichen Tätigkeiten und/oder Verlust an Unterarmrotation 15-30 Grad
Ausreichend	Geringe Beschwerden bei täglichen Aktivitäten und/oder Rotationsverlust von 30-90 Grad
Schlecht	Alle anderen Ergebnisse

Jubel et al. (2004) bewerten ebenfalls die Ergebnisse der ESIN mit dem Bewertungsschema von Price (1990). Den Bewegungsumfang von Ellenbogengelenk und Handgelenk vermessen sie mit der Neutral-Null Methode (Tabelle 20).

Tabelle 20: Klassifizierung des Unterschiedes der Umwendbewegung von Jubel et al. (2004).

Bewertung	Unterschied Umwendbewegung
Ausgezeichnet	Bis 10 Grad
Gut	10-30 Grad

Nau et al. (2015) definieren akzeptable Grenzen für die Achsabweichung von Ulna und Radius in Abhängigkeit von der Art der Fraktur und dem Alter des Kindes (Tabelle 21).

Tabelle 21: Klassifizierung der Achsabweichung von Nau et al. (2015).

Fehlstellung	Grünholzfraktur/stabil	Instabil
Akzeptable Fehlstellung (jünger 5 Jahre)	Kleiner 15 Grad	Kleiner 10 Grad
Akzeptable Fehlstellung (5-10 Jahre)	Kleiner 15 Grad	Keine
Akzeptable Fehlstellung (Älter 10 Jahre)	Kleiner 15 Grad	Keine
Empfohlenes Behandlung bei unakzeptabler Fehlstellung	ESIN von Radius und Ulna	ESIN von Radius und Ulna

Fernandez et al. (2005) verwenden den Rotationsverlust und weitere Parameter, um die Ergebnisse der intramedullären Nagelung mit der Plattenosteosynthese zu vergleichen. Hierzu betrachten sie neben der Operationszeit die Durchleuchtungszeit, die Dauer des Krankenhausaufenthaltes, Komplikationen, Refrakturen, Narbengröße und die Zufriedenheit des Patienten mit dem kosmetischen Ergebnis (Tabelle 22).

Tabelle 22: Klassifizierung des Rotationverlustes von Fernandez et al. (2005).

Bewertung	Rotationsverlust
Gut	0-10 Grad
Befriedigend	10-30 Grad
Schlecht	Größer 30 Grad

Hertlein et al. (2000) bewerten das Operationsergebnis anhand des Rotationverlustes. Sie erachten eine Achsabweichung am Unterarmschaft von mehr als 10% als kritisch, da ab hier substantielle Einschränkungen in der Bewegungsfähigkeit (besonders die Pronation/Supination) zu erwarten sind. Aber sie merken auch an, dass die Korrelation schwach ist. Griffet et al. (1999) verwenden ebenfalls den Rotationsverlust als entscheidendes Kriterium, um die ESIN zu bewerten. Dazu betrachten sie die weiteren Nebenwirkungen der Operation. Weinberg et al. (2008) untersuchen die Supination und die Pronation nach Abschluss der Behandlung als Bewertungskriterium der

Operationstechnik. Wenn eine freie Pronation und Supination erreicht wird, bewerten sie das Ergebnis als Erfolg. Lascombes et al. (1990) bewerten das Ergebnis der OP anhand der Komplikationsrate, der Störung der Bewegungsfähigkeit postoperativ und des Rotationsverlustes des Ellenbogengelenkes. Auch Mann et al. (2003) bewerten die Ergebnisse der ESIN anhand der Komplikationen und der Achsabweichung, sowie der Beweglichkeit des Armes. Verstreken et al. (1988) nutzen den Bewegungsumfang der Arme, um das Ergebnis der ESIN zu bewerten. Van der Reis et al. (1998) kategorisieren die Ergebnisse in exzellent und schlecht. Für ein exzellentes Ergebnis muss der Patient weniger als 10 Grad Rotationsunterschied zwischen den beiden Armen und der Arm eine achsgerechte Stellung mit einer Winkelabweichung kleiner 10 Grad haben.

Houshian und Bajaj (2005) bewerten die knöcherne Verbindung sowie die Beweglichkeit des Handgelenkes und die Rotation des Unterarmes. Ähnlich Berger et al. (2005), welche das Operationsergebnis basierend auf der Dauer bis zur knöchernen Durchbauung, Anzahl der Infektionen, Wiedererreichen des vollen Bewegungsumfanges und der Funktionsfähigkeit des Armes bewerten.

5.2. Vorteile und Nachteile der ESIN

Der große Vorteil der ESIN sind die verglichen mit anderen Verfahren geringen negativen Auswirkungen auf den Heilungsprozess. Die elastischen Eigenschaften des Nagels fördern die Heilung durch die Stimulierung der periostalen und endostalen Kallusformation, und das Periosteum wird geschützt (Weinberg et al., 2008). Dies ist besonders wichtig, da sich bei einer Beschädigung desselbigens sich die Heilung deutlich verzögern kann. Auch wenn eine offene Behandlung notwendig wird, ist bei der ESIN nur ein kleiner Schnitt erforderlich (Fernandez et al., 2005; Smith et al., 2005). Hinzu kommt der geringere Knochenüberwuchs durch den schnelleren Knochenumbau (Fernandez et al., 2005). Die ESIN hat zudem keine negativen Auswirkungen auf das Wachstum (Barry und Paterson, 2004). Im Vergleich zu anderen Verfahren ist die ESIN weichteilschonender mit kürzeren Operationszeiten und substantiell kürzeren Krankenhausaufenthalten (Verstreken et al., 1988; Barry und Paterson, 2004; Jubel et al., 2004; Smith et al., 2005; Dietz et al., 2006). Dies ermöglicht eine schnelle Rückkehr zu den täglichen Aktivitäten (Barry und Paterson, 2004). Bedingt durch die geringe

Invasivität des Verfahrens kann der Patient schnell wieder zur Schule gehen, und eine anschließende Ruhigstellung im zirkulären Gipsverband ist nicht notwendig (Griffet et al., 1999).

Weitere Vorzüge der ESIN sind die schnelle und feste Konsolidierung, gute kosmetische Ergebnisse, minimale Gewebeerstörung, einfache Metallentfernung, geringe Komplikationsrate, geringe Einschränkung der kindlichen Aktivität und schnelle Remobilisation nach Metallentfernung (Lascombes et al., 1990; Van der Reis et al., 1998; Berger et al. 2005; Smith et al., 2005). Smith et al. (2005) zählen die geringere Refrakturnrate, verglichen mit einer offenen Reposition, als einen weiteren Vorteil der Behandlungstechnik auf. Die wesentlich besseren kosmetischen Ergebnisse verglichen mit der Plattenosteosynthese sind ein weiterer wichtiger Vorteil der ESIN (Fernandez et al., 2005; Weinberg et al., 2008). Insbesondere, da die Patienten die Bedeutung eines guten kosmetischen Ergebnisses sehr hoch einschätzen (Fernandez et al., 2005). Dazu kommt noch die Möglichkeit, größere Fraktursegmente unter Gewebeschonung zu verbinden und der Vorteil, keine Belastungspunkte an den Nagelpunkten der Platten am Knochen zu haben. Ebenso kann die intramedulläre Nagelung auch bei prekärem Weichgewebe durchgeführt werden, während eine offene Reposition zu einem hohen Risiko von Wundkomplikationen, Infektionen und Wundheilungsstörungen führen würde (Weinberg et al., 2008).

Nachteilig im Vergleich zur konservativen Behandlung ist die notwendige Folgeoperation zur Implantatentfernung (Weinberg et al., 2008). Dazu ist die Röntgendauer, verglichen mit der Plattenosteosynthese, signifikant höher (Lascombes et al., 1990; Fernandez et al., 2005). Hinzu kommt, dass mit der ESIN Rotationsfehler schwierig zu beheben sind (Hertlein et al., 2000).

Ein besonderer Vorteil der speziellen elastisch-stabilen intramedullären Nägel ist deren Elastizität (Battle et al., 2006). Die Eigenschaften von Elastisch-Stabilen Intramedullären Nägeln stellen immer einen Kompromiss aus notwendiger Festigkeit, Elastizität und Widerstand gegen Ermüdung dar. So sind die technischen Eigenschaften von Titanägeln denen von Knochen wesentlich ähnlicher als dies bei Edelstahlägeln der Fall ist. Übliche Titanlegierungen sind Ti6Al4V und Ti6Al7Nb (Stedfeld, 2015).

5.3. Ergebnisse Intramedullärer Nagelung nach kindlichen Unterarmfrakturen

Hertlein et al. (2000) verglichen die ESIN von kindlichen Unterarmfrakturen mit der konservativen Behandlung und fanden bei beiden Behandlungsverfahren vergleichbare gute funktionelle Ergebnisse. Sie schlussfolgern, dass bei der Versorgung von instabilen, kindlichen Unterarmfrakturen die intramedulläre Nagelung das Behandlungsverfahren der Wahl ist. Berger et al. (2012) erachten die intramedulläre Nagelung als ein exzellentes Verfahren bei kindliche Unterarmfrakturen. Sie sind jedoch der Auffassung, das Verfahren sollte Frakturen vorbehalten sein, welche sich nicht allein konservativ mit einem zirkulären Gipsverband behandeln lassen. Richter et al. (1998) berichten, dass es keine schwerwiegenden Komplikationen nach intramedullärer Nagelung kindliche Unterarmfrakturen gab. ESIN sollte ihrer Auffassung dennoch nur angewendet werden, wenn eine konservative Behandlung nicht zielführend ist. Jubel et al. (2004) berichten bei 12% der Patienten nach intramedullärer Nagelung von Einschränkungen der Beweglichkeit. Sie kamen entsprechend zu der Erkenntnis, dass die ESIN bei Kindern ein sicheres und adäquates Verfahren zur Behandlung dislozierter instabiler Unterarmfrakturen darstellt. Mann et al. (2003) fanden bei allen mit ESIN operierten Patienten keine relevanten Längendifferenzen oder Achsenabweichungen grösser 5 Grad. Entsprechend verwenden sie die ESIN als Standardverfahren bei instabilen kindlichen Unterarmfrakturen. Vertreken et al. (1988) fanden in ihrer Studie an kindlichen Unterarmfrakturen nach Versorgung mit ESIN keine bleibenden Komplikationen und beobachteten ein vollständiges Rotationsvermögen der Arme. Lascombes et al. (1990) operierten Kinder mit ESIN und gestatteten sofortige Mobilisierung nach der Operation. Sie erzielten bei 92% der Patienten exzellente Ergebnisse. Griffet et al. (1999) fanden bei 81 kindlichen Unterarmfrakturen, welche mit ESIN behandelt wurden, nur bei einem Patienten einen Rotationsverlust, und 79 Patienten erreichten eine vollständige Genesung.

Fernandez et al. (2005) verglichen die Ergebnisse der Plattenosteosynthese mit intramedullärer Nagelung bei operativer Versorgung von instabilen diaphysären Frakturen bei Kindern. Sie kamen zu dem Schluß, dass die intramedulläre Nagelung von instabilen, kindlichen Unterarmfrakturen eine kinderfreundliche, minimalinvasive

Operationstechnik ist, welche ein exzellentes funktionelles und kosmetisches Ergebnis ergibt. Van der Reis et al. (1998) verglichen ebenfalls die Ergebnisse bei der Behandlung von kindlichen Unterarmfrakturen mit Platte und ESIN. Die funktionellen Ergebnisse, die Rate der Konsolidierung und die Komplikationsrate der beiden Behandlungsverfahren waren nicht signifikant unterschiedlich. Entsprechend erachten sie die ESIN als eine sinnvolle Alternative zur Behandlung instabiler Frakturen des Radius und der Ulna. Dagegen stellen Smith et al. (2005) fest, dass die intramedulläre Nagelung eine höhere Komplikationsrate als die offene Reposition mit Plattenosteosynthese hat. Wenn Komplikationen auftreten sind diese aber weniger gravierend als bei der Plattenosteosynthese.

Calder et al. (2003) verglichen bei der intramedullären Behandlung diaphysärer Unterarmfrakturen Implantate aus Kirschnerdraht und intramedulläre Nägel miteinander und fanden keine eindeutigen Unterschiede im Ergebnis beider Implantattypen. Entsprechend kommen sie zu dem Schluss, dass die ideale Behandlung für kindliche diaphysäre Unterarmbrüche nicht abschließend geklärt ist, beide Verfahren aber exzellente Ergebnisse erzielen können. Ähnlich Barry und Paterson (2004), welche bei der Verwendung von Elastisch-Stabilen Intramedullären Nägeln und Kirschnerdraht nach kindlichen diaphysären Unterarmfrakturen vergleichbare Ergebnisse erzielten. Fernandez et al. (2010) fanden unter 537 Patienten, welche mit ESIN unter Verwendung von Kirschnerdraht als Implantat behandelt wurden, nur bei 6 Patienten einen Rotationsverlust. Aufgrund der sehr guten Ergebnisse erachten Sie die ESIN weiterhin als das Standardverfahren für kindliche Unterarmbrüche.

5.4. Zeitlicher Abstand zwischen Operation und abschließender Bewertung

Der zeitliche Abstand zwischen der Metallentfernung und der abschließenden Beurteilung des Heilungsverlaufes variiert in den veröffentlichten Untersuchungen erheblich. So bewerteten Mann et al. (2003) die Heilung bereits nach 3 Monaten, während andere wie van der Reis et al. (1998) die Bewertung nach 12 Monaten vornahmen und Fernandez et al. (2005) nach 20,6 Monaten. Der größte zeitliche Abstand zwischen der Metallentfernung als Abschluss der operativen Behandlung und

der Bewertung war bei Lascombes et al. (1990) zu finden, welche die abschließende Untersuchung 42 Monate nach der Metallentfernung durchführte (Tabelle 23).

Tabelle 23: Abstand zwischen Metallentfernung und Bewertung des Operationsergebnisses.

Autor	Bewertung Unterarm nach Metallentfernung (Monate)
Mann et al. (2003)	3
Richter et al. (1998)	6
Van der Reis et al. (1998)	12
Verstrecken et al. (1988)	14
Behnke et al. (2012)	16,5
Houshain und Bajaj (2005)	20
Fernandez et al. (2015)	20,6
Fernandez et al. (2010)	37
Jubel et al. (2004)	38
Lascombes et al. (1990)	42

Bedingt durch diesen geringen Abstand zwischen dem Abschluss der operativen Behandlung und der bewertenden Abschlussuntersuchung machen die vorhandenen Studien keine Aussagen zu den Behandlungsergebnissen der Patienten, nachdem diese das Erwachsenenalter erreicht haben. Die vorliegende Langzeituntersuchung schließt diese Lücke und betrachtet einen durchschnittlichen Abstand von der Metallentfernung zur abschließenden Bewertung von 12,4 Jahren. Somit waren die meisten Patienten bei einem durchschnittlichen Alter von 8,3 Jahren zum Zeitpunkt der Behandlung bei der Abschlussbewertung im Rahmen dieser Untersuchung bereits ausgewachsen.

5.5. Beantwortung der Fragebögen.

Die Bereitschaft der Patienten an einer Nachuntersuchung teilzunehmen war sehr gering und lediglich 1 Patient war hierzu bereit. Der große zeitliche Abstand zwischen dem Abschluss der Behandlung und der vorliegenden Untersuchung von durchschnittliche 12,4 Jahren ist wahrscheinlich der Grund hierfür.

5.6. DASH Score

Bei allen befragten Patienten der drei DASH Module wurde nie mehr als eine Frage nicht beantwortet. Auffällig ist, dass die Frage 21 („Sexuelle Aktivitäten“) des Moduls „Behinderung von Arm, Schulter und Hand“ von 20 Patienten (22%) nicht beantwortet worden ist. Dies ist wahrscheinlich durch die intime Natur der Frage zu erklären. Ebenso berichtet das Institute of Health and Work (2017) von typischerweise 20% fehlenden Antworten für diese Frage.

Der durchschnittliche DASH Score der US-amerikanischen Bevölkerung liegt bei 10,1 (Hunsaker, 2002). Ein DASH Score von 0 bedeutet keinerlei Beschwerden und ein DASH Score von 100 zeigt eine maximale Behinderung an (Institute of Health and Work, 2017). Gegenwärtig gibt es keine formelle Kategorisierung des DASH Scores in Klassen (Institute of Health and Work, 2017). Jedoch nehmen verschiedene Autoren Bewertungen vor. So erzielten Meier et al. (2003) einen DASH Score von 3,5 nach der Operation kindlicher Unterarmdeformationen und bewertete diesen Wert als gut bis sehr gut. In einer weiteren Untersuchung berichten Meier et al. (2004) nach der operativen Korrektur von kindlichen, distalen Radiusdeformationen von einem DASH Score von 4 (Mittelwert) und bewerten dies als einen geringen Grad der Behinderung. Scaglione et al. (2015) erzielten bei der Bewertung von adulten Humerusfrakturen einen durchschnittlichen DASH Score von 8,9, was sie als exzellent bezeichnen. Lerch et al. (2009) bewerteten einen DASH Score von 14 bei adulten Patienten als akzeptabel. Nach Nishikawi (2011) zeigt ein DASH Score von 4,8 bei adulten Patienten einen geringen Grad an Behinderung von Arm, Schulter und Hand an. Saka et al. (2014a) erzielten bei adulten Patienten einen DASH Score von 6,5 und bewertet ihn als gut. Lee et al. (2008) bezeichnen DASH Scores zwischen 0 und 19 als sehr gute Ergebnisse. Werte darüber separierten sie in eine eigenen Klasse.

Basierend auf diesen Bewertungen wurden die DASH Scores klassifiziert (Tabelle 24). Ein DASH Score, welcher über dem Durchschnitt der US-amerikanischen Bevölkerung liegt, wurde als mangelhaft angesehen, da es sich um junge Patienten handelt und die DASH Scores unterhalb des Durchschnittes der Bevölkerung liegen sollten.

Tabelle 24: Klassifizierung der DASH Scores.

DASH Score	Bewertung
0	Keine Beschwerden
>0-5	Gut
>5-10,1	Befriedigend
>10,1	Mangelhaft

Beim DASH Modul „Behinderung von Arm, Schulter und Hand“ waren 70 Patienten (77,8%) beschwerdefrei, 17 (18,8%) hatten ein gutes Ergebnis und 3 (3,3%) ein befriedigendes Ergebnis.

Beim DASH „Sport- und Musikmodul“ waren 84 Patienten (96,6%) beschwerdefrei, einer (1,2%) hatte ein befriedigendes Ergebnis und 2 (2,3%) hatten ein mangelhaftes Ergebnis.

Beim Arbeits- und Berufsmodul waren 83 Patienten (97,6%) beschwerdefrei, einer (1,2%) hatte ein befriedigendes Ergebnis und einer (1,2%) ein mangelhaftes Ergebnis.

8 Patienten berichteten über Sensibilitätsstörungen und 12 über Beschwerden mit der Narbe.

Auffällig ist der Patient 90, welcher bei allen drei DASH Modulen deutlich von 0 verschiedene Werte zeigt. So erzielte er einen DASH Score für Behinderung von Arm, Schulter und Hand von 7,25, einen DASH Score im Sport- und Musikmodul von 6,25 und für das Arbeits- und Berufsmodul 18,75.

Der Patient 56 zeigt einen DASH Score für Behinderung von Arm, Schulter und Hand von 1,67, sowie einen DASH Score im Sport- und Musikmodul von 37,5. Während ein DASH Score von 1,67 ein gutes Ergebnis darstellt, ist ein DASH Score von 37,5 ein mangelhaftes Ergebnis.

Ebenso erzielt der Patient 45 einen DASH Score im Sport- und Musikmodul von 37,5, was als ein mangelhaftes Ergebnis zu beurteilen ist.

Das Ergebnis der Behandlung mit der ESIN ist somit nur bei 3 Patienten (3,3%) als mangelhaft zu bewerten.

Die Patient 56 und 90 hatten eine Unterarmschaftfraktur, welche beim Spielen zugezogen wurde. Die Behandlung erfolgte in beiden Fällen mit Prevotnägeln in Ulna und Radius, und auch in beiden Fällen erfolgte die Operation unmittelbar am Unfalltag. Während der Patient 56 keine Auffälligkeiten zeigte, gestaltete sich dies bei dem

Patienten 90 anders. Er war zum Zeitpunkt der ESIN bereits 17 Jahre alt und damit der älteste Teilnehmer der Studie. Dietz et al. (2006) erachteten die ESIN für fast alle diaphysären Frakturen von Kindern im Alter von 4-14 Jahren als geeignet. Ähnlich äußern sich Barry und Paterson (2004), welche die ESIN für das Alter von Kindern ab 4 Jahren empfehlen. Ihrer Auffassung nach ist die obere Altersgrenze für die Anwendung der ESIN das Schließen der Epiphysenfugen. Nau et al. (2015) stellen fest, dass mit zunehmendem Kindsalter die Toleranz für Winkelabweichungen abnimmt. Entsprechend ist bei Erwachsenen das Standardbehandlungsverfahren für Unterarmfrakturen die Plattenosteosynthese (Behneke et al., 2012; Fernandez et al., 2005) und nicht mehr die ESIN. Ebenso sehen auch Dietz et al. (2006) ein zu hohes Alter der Patienten als häufige Ursache für Komplikationen bei der ESIN an. Somit ist die Ursache für den mangelhaften DASH Score des Patienten 90 weniger in der Behandlungsmethode der ESIN zu suchen, sondern vielmehr in dem zu hohen Alter des Patienten zu suchen. So hätte die Plattenosteosynthese bei dem Patienten 90 wahrscheinlich ein besseres Ergebnis erzielen können.

Der Patient 45, welcher ebenfalls ein schlechtes Ergebnis beim Sport- und Musikmodul erzielte, erlitt eine Unterarmschaftfraktur im Alter von 6 Jahren. Die Metallentfernung erfolgte bei diesem Patienten allerdings nicht im Universitätsklinikum Marburg, sondern am Universitätsklinikum Gießen. Er wurde im Alter von 6 Jahren mit Prevotnägeln in Radius und Ulna behandelt. Andere Auffälligkeiten sind bei diesem Patienten nicht zu beobachten.

Marengo et al. (2015) erzielten bei Frakturen des distalen Humerus an der metaphysären-diaphysären Verbindung bei Kindern nach intramedullärer Nagelung einen Quick DASH Score von 0,81. Kraus et al. (2014) erhoben bei substantiell verschobenen kindlichen Humerusfrakturen nach intramedullärer Nagelung einen DASH Score von 1,44 im Modul „Behinderung von Arm, Schulter und Hand“. Ähnlich Khan et al. (2014), welche nach der Behandlung kindlicher distaler proximaler Humerusfrakturen mit intramedullärer Nagelung einen QuickDASH Score von 2 erzielten. Rabinovich et al. (2005) bewerteten die Ergebnisse nach intramedullärer Nagelung von Olecranonfrakturen bei Kindern und erzielten einen durchschnittlichen Score im Modul Behinderung von Arm, Schulter und Hand von 6. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen

Meier et al. (2003), welche die operative Behandlung von Deformationen bei distalen Radiusfrakturen von Kindern bewerten und einen Median des DASH Scores im Modul Behinderung von Arm, Schulter und Hand von 4 erreichen.

Somit sind die DASH Scores, welche in der vorliegenden Langzeituntersuchung erhoben wurden, im Vergleich zu anderen Untersuchungen als hervorragend zu bewerten und zeigen die exzellente Eignung der intramedullären Nagelung für die Behandlung kindlicher Unterarmfrakturen auch über einen langen Zeitraum.

5.7. Refrakturen

Die Patienten 7/25 und 6/37 erlitten Refrakturen 445, respektive 692 Tage, nach der ursprünglichen ESIN. Der Patient 88/101 erlitt eine Refraktur 113 Tage nach der ESIN (56 Tage nach der Metallentfernung). Alle Patienten mit Refrakturen wurden mit Prevotnägeln in Radius und Ulna sowohl bei der ersten Operation als auch bei der Folgeoperation therapiert. Alle Patienten mit Refrakturen erzielten DASH Scores von 0 und waren somit beschwerdefrei

Die Metallentfernung erfolgte bei der Patientenkohorte im Median nach 68 Tagen und somit nach sehr kurzer Zeit. Nur Mann et al. (2003) führen die Metallentfernung in Ausnahmefällen ebenfalls so früh durch, warten aber in der Regel 3 Monate. Ebenso empfehlen Richter et al. (1998), Versteken et al. (1998) und Dietz et al. (2006) nach einer Röntgenkontrolle 3 Monate postoperativ die Metallentfernung durchzuführen. Dagegen warten Griffet et al. (1999) 4 Monate mit der Metallentfernung und Weinberg et al. (2008) 6-8 Monate. Lascombes et al. (1990) erachten eine Metallentfernung nach nur 4 Monaten als verfrüht, da es zu erneuten Brüchen kam und empfehlen 10-12 Monate zu warten.

Zwei der drei Refrakturen (7/25 und 6/37) ereigneten sich mit einem Abstand von über einem Jahr nach der ursprünglichen ESIN, so dass hier von keinem kausalen Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Metallentfernung und der Refraktur ausgegangen werden kann. Einzig bei dem Patienten 88/101 erfolgt die Refraktur 56 Tage nach der Metallentfernung, so dass hier ein kausaler Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Metallentfernung und der Refraktur möglich ist. Andererseits liegt die Refrakturrate bei der Patientenkohorte mit 3,3% nicht deutlich höher als in anderen

Untersuchungen von ESIN. So berichten Van Egmond et al. (2013) von einer Refrakturnrate von 2,3% und Kelly et al. (2016) von einer Refrakturnrate von 1,2% nach ESIN.

5.8. Mayo Wrist Score

Ein Wert von 100 im Mayo Wrist Score bedeutet eine maximale Zufriedenheit der Patienten, Schmerzfreiheit, einen Bewegungsumfang und eine Griffstärke, welche der Gegenseite entspricht. Die Fragen des Mayo Wrist Scores wurden von allen Patienten beantwortet. 74 Patienten (82%) erzielten einen Mayo Wrist Score von 100 und waren somit beschwerdefrei. 8 Patienten (9%) erzielten einen Score zwischen 90 und 99, welcher ein sehr gutes Ergebnis bedeutet. 4 Patienten (4%) erzielten einen Score zwischen 80 und 89 und somit ein gutes Ergebnis. Lediglich 3 Patienten (3%) hatten einen Score zwischen 70 und 79, was ein befriedigendes Ergebnis bedeutet. Somit erzielten insgesamt 97% der Patienten ein gutes oder sehr gutes Ergebnis.

Der Patient 90, welcher bereits bei dem DASH Score in allen drei Modulen erhöhte Werte erreicht hatte, hatte ebenfalls nur ein befriedigendes Ergebnis beim Mayo Wrist Score.

Der Patient 56, welcher ebenso nur einen befriedigenden Mayo Wrist Score erzielt hatte, hatte bereits bei dem DASH Sport- und Musikmodul ein schlechtes Ergebnis erzielt.

Der Patient 83 erzielte ebenfalls nur ein befriedigendes Ergebnis im Mayo Wrist Score. Zwar erzielte er einen leicht erhöhten DASH Score, jedoch ist dieser Wert immer noch als hervorragend zu bewerten. Insofern gab es hier keinen erkennbaren Zusammenhang zwischen dem Mayo Wrist Score und dem DASH Score.

Die Bewertung kindlicher Armfrakturen mit Hilfe des Mayo Wrist Scores ist bisher nur in seltenen Fällen erfolgt. So berichten lediglich Waters et al. (2002) bei juvenilen Patienten mit posttraumatischem distalem radialem Wachstumsstopp von durchschnittlichen Mayo Wrist Scores von 98.

Bei adulten Patienten liegen dagegen verschiedene Untersuchungen zur Bewertung intramedullärer Nagelung mit dem Mayo Wrist Score vor. So untersuchten Chen et al. (2017) intramedulläre Nagelung bei adulten Patienten mit Radiusfrakturen und erzielten

einen durchschnittlichen Mayo Wrist Score von 83,8. Wakasugi et al. (2016) erzielten nach der Behandlung von Radiusfrakturen adulter Patienten mit intramedullärer Nagelung einen durchschnittlichen Mayo Wrist Score von 91,9. Rampolid und Marisco (2010) erzielten nach der Behandlung von distalen Radiusfrakturen adulter Patienten bei 63% der Patienten ein sehr gutes Ergebnis im Mayo Wrist Score, bei 26% ein gutes Ergebnis und bei 11% ein befriedigendes Ergebnis.

Somit sind die Ergebnisse beim Mayo Wrist Score fast identisch mit einer Untersuchung von Waters et al. (2002) und wesentlich besser als bei anderen intramedullären Nagelungen von adulten Patienten.

5.9. Marburger Erhebungsbogen

84 Patienten (93%) sind nicht durch die damalige Verletzung eingeschränkt, während 6 Patienten (7%) von Einschränkungen berichten. Auffällig ist, dass ein Patient einen DASH Score von 0 (keine Einschränkungen) und einen Mayo Wrist Score von 100 (keine Beschwerden) erzielt, sich aber durch die Verletzung als eingeschränkt betrachtet.

Dagegen erzielten die 5 anderen Patienten, welche durch die Verletzung eingeschränkt sind, auch beim DASH Score Werte ungleich 0 bzw. einen Mayo Wrist Score von ungleich 100. Eine optische Beeinträchtigung des verletzten Armes wird von 10 Patienten (11%) berichtet. 12 Patienten (13%) berichten von Unterschieden in der Beweglichkeit der Arme. Ein Teil der Patienten, welcher bei dem Mayo Wrist Score keine Unterschiede im Bewegungsumfang angegeben hatte, gibt hier Unterschiede in der Beweglichkeit an. 7 Patienten berichten von Unterschieden in der Beweglichkeit der Ellenbogengelenke und 9 von Unterschieden in der Supination/Pronation der Arme. 7 Patienten berichten von Unterschieden in der Beweglichkeit der Handgelenke und bei der Ulna/Radiusabduktion. 5 Patienten berichten von schmerzhaften Bewegungseinschränkungen. Es ist auffällig, dass 3 dieser Patientenangaben trotz schmerzhafter Bewegungseinschränkungen, keine Einschränkung durch die Verletzung zu haben. 2 Patienten nehmen wegen der Armverletzung regelmäßig Schmerzmittel ein und beide berichten durch die Verletzung eingeschränkt zu sein. 15 Patienten berichten von Gefühlsstörungen im Seitenvergleich. Bei 6 Patienten ist das Gefühl auf der Daumenrückseite nicht seitengleich, wobei jedoch nur 1 Patient in seiner Beweglichkeit

eingeschränkt ist. 6 Patienten berichten von Problemen mit den Narben, welche jedoch alle keine schmerzhaften Bewegungseinschränkungen haben und auch alle keine Schmerzmittel nehmen. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass es sich um geringfügige Beschwerden handelt. Bei 5 Patienten war neben der Metallentfernung noch eine Folgeoperation notwendig. Bei einem dieser Patienten war dies durch eine Refraktur bedingt und 2 Patienten berichteten von Nervenschäden durch die Ausgangsoperation. Bei einem Patienten wurde der vorher eingesetzte Prevotnagel durch eine Plattenosteosynthese ersetzt. Ein Patient berichtete von einer „schief“ zusammengewachsener Fraktur, welche durch eine Folgeoperation behandelt werden musste.

Auffällig ist die geringe Korrelation zwischen den Antworten des Marburger Erhebungsbogens, dem DASH und dem Mayo Wrist Score. Zudem beantworten einige Patienten innerhalb des Marburger Erhebungsbogens die Fragen nicht kohärent. Dies ist besonders auffällig, wenn einige Patienten von schmerzhaften Bewegungseinschränkungen berichten, aber dennoch angeben, keine Einschränkung durch die Verletzung zu haben. Dies könnte in der geringen Motivation der befragten Patienten liegen, sich an der Umfrage zu beteiligen. So zeigten nicht wenige Patienten ein generelles Desinteresse, an der Befragung teilzunehmen. Der Marburger Erhebungsbogen wurde als letzter der drei Fragebögen abgefragt.

6. Zusammenfassung

Im Rahmen einer retrospektiven Untersuchung wurden die Langzeitergebnisse der intramedullären Nagelung nach kindlichen diaphysären Unterarmfrakturen untersucht. Hierzu wurden 90 Patienten, welche im Zeitraum 2000-2007 am Universitätsklinikum Marburg nach Frakturen von Ulna und Radius mit ESIN behandelt wurden, telefonisch befragt. Die Datenerhebung erfolgte mit den Verfahren des DASH Scores und des Mayo Wrist Scores. Zusätzlich wurde mit dem Marburger Erhebungsbogen ein neuer Fragebogen verwendet, welcher detaillierte, deskriptive Informationen über den Patienten erfasste.

Die Erhebung erfolgte durchschnittlich 12,4 Jahre nach der ursprünglichen Operation. Der DASH Score ergab einen durchschnittlichen Wert für das Modul Behinderung von Arm, Schulter und Hand von 0,4 (Standardabweichung: 1,45), für das Modul Sport und Musik von 0,9 (Standardabweichung: 5,68) und für das Arbeits- und Berufsmodul von 0,3 (Standardabweichung: 2,14). Der Mayo Score ergab einen durchschnittlichen Score von 97,64 (Standardabweichung: 7,39), wobei 82% aller Patienten einen Mayo Wrist Score von 100 erzielten.

Es zeigte sich in dieser Untersuchung ein geringer Zusammenhang zwischen den DASH Scores und dem Mayo Wrist Score. Sowohl DASH Score als auch Mayo Wrist Score ergaben deutlich bessere Punktwerte als früher publizierte Studien.

Die Ergebnisse des Marburger Erhebungsbogens zeigen einen geringen Zusammenhang zu den Ergebnissen des DASH Scores und des Mayo Wrist Scores und waren teilweise auch nicht in sich kohärent. Dies könnte jedoch durch das geringe Interesse der Patienten an der Teilnahme an der Befragung erklärt sein und weniger durch den Fragebogen selber.

Insgesamt zeigen sowohl der DASH Score als auch der Mayo Wrist Score ein sehr gutes Behandlungsergebnis für die behandelten Patienten. Die Langzeittauglichkeit der ESIN bei kindlichen diaphysäre Unterarmfrakturen kann somit eindeutig bejaht werden.

7. Abstract

In a retrospective study the long term results of intramedullary nailing of forearm fractures in children were analysed. For this purpose, 90 patients, which experienced diaphyseale forearm fractures as infants, were interviewed. These patients have been treated from 2000 to 2007 at the University Hospital Marburg by intramedullary nailing. They were interviewed by phone. The current condition of the patients was evaluated using the DASH Score and the Mayo Wrist Score. In addition to these established evaluation scores the newly developed Marburger Erhebungsbogen (Marburg evaluation form) was used to collect further information about the patient's condition. The interviews were done on average 12.4 years after surgery.

In our study population we evaluated an average DASH score of 0.4 (standard deviation: 1.45), for sport/performing arts 0.9 (standard deviation: 5.68) and for the work module 0.3 (standard deviation: 7.39). 77 % of our patients achieved a DASH Score of 0. The average Mayo Wrist Score was 97.64 (standard deviation: 7.39), 82% of the study population achieved a score of 100.

A correlation between the DASH Score and the Mayo Wrist Score was found only in a few patients. The DASH Scores and Mayo Wrist Scores demonstrated better point values for our study population than in most other studies reported.

Little correlation was found between the DASH Score, Mayo Wrist Scores and the Marburger Erhebungsbogen.

All in all, this study demonstrates favorable long-term results achieved by intramedullary nailing for forearm fractures in children.

8. Literaturverzeichnis

Aidelsburger, P., Grabein, K., Huber, A., Hertlein, H. und J. Wasem. Die elastisch stabile intramedulläre Nagelung bei instabilen kindlichen Unterarmschaftfrakturen. Deutsche Agentur für Health Technology Assessment des Deutschen Instituts für Medizinische Dokumentation und Information. 2006, Köln.

Altay, M., Aktekin, C.M., Ozkurt, B., Birinci, B., Ozturk, A.M. und A.Z. Tabak. Intramedullary wire fixation for unstable forearm fractures in children. *Injury*, 2006. 37, p. 966—973.

Andrade-Silva, F.B., Kojima, K.E., Joeris, A., Santos Silva, J. und R. Mattar. Single, superiorly placed reconstruction plate compared with flexible intramedullary nailing for midshaft clavicular fractures: a prospective, randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am*, 2015. 97(8), p. 620-6.

Barry, M. und J.M.H. Paterson. Flexible intramedullary nails for fractures in children. *The journal of bone and joint surgery*, 2004. 86(7), p. 947-953.

Battle, J., Carmichael; K.-C. und R.P. Morris. Biomechanical comparison of flexible intramedullary nailing versus crossed Kirschner wire fixation in a canine model of pediatric forearm fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*, 2006. 15, p.370—375.

Behnke, N.M.K., Redjal, H.R., Nguyen, V.T. und D.M. Zinar. Internal Fixation of Diaphyseal Fractures of the Forearm: A Retrospective Comparison of Hybrid Fixation Versus Dual Plating. *J Orthop Trauma*, 2012. 26(11), p. 611-616.

Berger, P., De Graaf, J.S. und R. Leemans. The use of elastic intramedullary nailing in the stabilisation of paediatric fractures. *Injury*, 2005. 36(10), p. 1217—1220.

Blair, S. Estimating tibial nail length using forearm referencing. *Injury*, 2005. 36(1), p. 160-162.

Burkhart, K.J., Müller, L.P., Schwarz, C., Mattyasovszky, S.G. und P.M. Rommens. Behandlung der intraartikulären Trümmerfraktur des distalen Humerus mittels Latitude- Ellenbogenprothese. *Oper Orthop Traumatol*, 2010. 22(3), p. 279-298.

Calder P.R., Achan, P. und M. Barry. Diaphyseal forearm fractures in children treated with intramedullary fixation: outcome of K-wire versus elastic stable intramedullary nail. *Injury*, 2003. 34(4) p. 278—282.

Canavese, F., Marengo, L., Cravino, M., Giacometti, V., Pereira, B., Dimeglio, A., Origo, C., und A. Andreacchio. Outcome of Conservative Versus Surgical Treatment of Humeral Shaft Fracture in Children and Adolescents: Comparison Between Nonoperative Treatment (Desault's Bandage), External Fixation and Elastic Stable Intramedullary Nailing. *J Pediatr Orthop*. 2017. 37(3), p. 156-163.

Chappuis, J. P. Bouté, P. und P. Putz. Dorsally displaced extra-articular distal radius fractures fixation: Dorsal IM nailing versus volar plating. A randomized controlled trial. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 2011. 97(5), p. 471—478.

- Chen, A.C-Y., Cheng, C.Y., und Y.-C. Chou. Intramedullary nailing for correction of post-traumatic deformity in late-diagnosed distal radius fractures. *J Orthopaed Traumatol*, 2017. 18, p. 37–42.
- Cooney, W.P., Bussey, R., Dobyns, J.H. und R.L. Linscheid. Difficult wrist fractures. Perilunate fracture-dislocations of the wrist. *Clin Orthop Relat Res*, 1987. 214,136-147.
- Daruwalla, J.S. A study of radioulnar movements following fractures of the forearm in children. *Clin Orthop Relat Res*. 1979. 139, p. 114–120.
- de Haan, J., Schep, N.W., Zengerink, I., van Buijtenen, J., Tuinebreijer, W.E. und D. den Hartog. Dislocation of the elbow: a retrospective multicentre study of 86 patients. *Open Orthop J*. 2010. 17 (4), p. 76-79.
- DePuySynthes. TEN/STEN – Elastisches Nagelsystem aus Titan/Stahl. Für die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN)-Operationstechnik. DePuySynthes Trauma. Oberndorf, 2015.
- Dietz, H-G., Schmittenebecher, P.P., Slongo, T. und K.E. Wilkins. Elastic Stable Intramedullary Nailing (ESIN) in Children (AO-Publishing). Thieme Stuttgart und New York, 2006.
- Fernandez, F.F., Egenolf, M., Carsten, C., Holz, F., Schneider, S. und A. Wentzensen. Unstable diaphyseal fractures of both bones of the forearm in children: Plate fixation versus intramedullary nailing. *Injury*, 2005. 36(10), p. 1210-1216.
- Fernandez, F.F., Langendörfer, M., Wirth, T. und O. Eberhardt. Failures and complications in intramedullary nailing of children's forearm fractures. *J Child Orthop*, 2010. 4, p. 159–167.
- Frank, M., Hecht, J., Napp, M., Lange, J., Grossjohann, R., Stengel, D., Schmucker, U., Ekkernkamp, A. und P. Hinz. Mind your hand during the energy crunch: Functional Outcome of Circular Saw Hand Injuries. *Journal of Trauma Management & Outcomes*. 2010. 4 (11).
- Germann, G., Harth, A., Wind, G. und E. Demir. Standardisierung und Validierung der deutschen Version 2.0 des „Disability of Arm, Shoulder, Hand“ (DASH)-Fragebogens zur Outcome-Messung an der oberen Extremität. *Unfallchirurg*, 2003. 106, p. 13-19.
- Grace, T.G, und W.W. Eversmann. Forearm fractures: treatment by rigid fixation with early motion. *J Bone Joint Surg Am*, 1980. 62(3), p. 433-438.
- Griffet, J., Hayek, T. und M. Baby. Intramedullary nailing of forearm fractures in children. *J Pediatr Orthop B*, 1999. 8(2), p. 88-9.
- Hertlein, H., Aidelsburger, P., Huber, A., Hartl, W.H., und H.-J. Andress. Instabile kindliche Femur- und Unterarmschaftfrakturen. Vergleich zwischen konservativer Behandlung und stabiler intramedullärer Schienung. *Zentralbl Chir*, 2000. 125(9), p. 756-762.
- Houshian, S. und S.K. Bajaj. Forearm fractures in children. Single bone fixation with elastic stable intramedullary nailing in 20 cases. *Injury*, 2005. 36(12), p. 1421—1426.

Hudak, P.L., Amadio, P.C., und C. Bombardier. Development of an Upper Extremity Outcome Measure: The DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder, and Head). *American Journal of Industrial Medicine*, 1996. 29 p. 602-608.

Hunsaker, F.G., Cioffi, D.A., Amadio, P.C., Wright, J.G. und B. Caughlin. The American academy of orthopaedic surgeons outcomes instruments: normative values from the general population. *J Bone Joint Surg Am* (2002). 84 A(2), p. 208-215.

Ilyas, A.M., und J.J. Thoder. Intramedullary Fixation of Displaced Distal Radius Fractures: A Preliminary Report. *JHS*, 2008. 33, 1706-1715.

Institute of Work and Health (2017)

http://www.dash.iwh.on.ca/sites/dash/files/downloads/dash_scoring_2010.pdf.

Abgerufen am 9.3.2017. 2017.

Jubel, A., Andermahr, J., Isenberg, J., Bergmann, H., Prokop, A., Rehm, K.E. Die elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) instabiler kindlicher Unterarmfrakturen. *Akt Traumatol*, 2004. 34: p. 111-116.

Kelly, B.A., Shore, B.J., Bae, D.S., Hedequist, D.J. und M.P. Glotzbecker. Pediatric forearm fractures with in situ intramedullary implants. *J Child Orthop*, 2016. 10, p. 321–327.

Kettler, M., Schieker, M., Braunstein, V., König, M. und W. Mutschler. Flexible intramedullary nailing for stabilization of displaced midshaft clavicle fractures. *Acta Orthopaedica*, 2007. 78(3). 424-429.

Khan, A., Athlani, L., Rousset, M., Samba, A. und F. Canavese. Functional results of displaced proximal humerus fractures in children treated by elastic stable intramedullary nail. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2014. 24, p. 165–172.

Kim, S.B., Heo, Y.M., Yi, J.W., Lee, J.B. und B.G. Lim. Shaft Fractures of Both Forearm Bones: The Outcomes of Surgical Treatment with Plating Only and Combined Plating and Intramedullary Nailing. *Clinics in Orthopedic Surgery*, 2015. 7, p. 282-290.

Köse, A., Aydın, A., Ezirmik, N., Can, C.E., Topal, M. und T. Tipi. Alternative treatment of forearm double fractures: new design intramedullary nail. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2014. 134, p. 1387–1396.

Kraus, T., Hoermann, S., Ploder, G., Zoetsch, S., Eberl, R. und G. Singer G. Elastic stable intramedullary nailing versus Kirschner wire pinning: outcome of severely displaced proximal humeral fractures in juvenile patients. *J Shoulder Elbow Surg*. 2014. 23 (10), p. 1462-1467.

Krettek, C. and A. Baumann. Interlocking. p. 39-52. In: *Intramedullary Nailing*. Ed. P.M. Rommens, und M.H. Hessmann. Springer London, 2015.

Krüger, A. Antrag an die Kommission für Ethik in der ärztlichen Forschung des Fachbereichs Humanmedizin der Philipps-Universität Marburg. Begutachtung eines Forschungsprojektes „Ergebnisse nach Elastisch-Stabiler Intramedullärer Nagelung (ESIN) kindlicher diaphysärer Unterarmfrakturen- Eine retrospektive Untersuchung“. 2016.

- Lascombes, P, Prevot, J., Ligier, J.N., Metaizeau, J.P. und T. Poncelet. Elastic stable intramedullary nailing in forearm shaft fractures in children: 85 cases. *J Pediatr Orthop*, 1990. 10(2) p.167-71.
- Lee, Y.H., Lee, S.K., Chung, M.S., Baek, G.H., Gong, H.S. und K.H. Kim. Interlocking contoured intramedullary nail fixation for selected diaphyseal fractures of the forearm in adults. *J Bone Joint Surg Am*. 2008. 90 (9), p. 1891-1898.
- Lerch, S., Sextro, H.-G., Wilken, F. und C.E. Wittenberg. Klinisch-radiologische Ergebnisse nach distaler Radiusfraktur: neues intramedulläres Osteosynthesystem versus volare winkelstabile Plattenosteosynthese. *Z Orthop Unfall*, 2009. 147(5), p. 547–552.
- Lidder, S., Heidari, N., Amerstorfer, F., Grechenig, S und A.M. Weinberg. Median Nerve Palsy following Elastic Stable Intramedullary Nailing of a Monteggia Fracture: An Unusual Case and Review of the Literature. *Case Reports in Medicine*, 2011.
- Mann, D., Schnabel, M., Baacke, M. und L. Gotzen. Ergebnisse der elastisch stabilen intramedullären Nagelung (ESIN) bei Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter. *Unfallchirurg*, 2003. 106(2), p. 102–109.
- Marengo, L., Canavese, F., Cravino, M., De Rosa, V., Rousset, M., Samba, A., Mansour, M. und A. Andreacchio. Outcome of Displaced Fractures of the Distal Metaphyseal-Diaphyseal Junction of the Humerus in Children Treated With Elastic Stable Intramedullary Nails. *J Pediatr Orthop*. 2015. 35 (6), p. 611-615.
- Meier, R., Prommersberger, K. J. und U. Lanz. Die operative Korrektur posttraumatischer Deformitäten am Unterarm nach Frakturen im Wachstumsalter. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 2003; 141(3): 328-335
- Meier, R., Prommersberger, K.J., van Griensven, M. und U. Lanz. Surgical correction of deformities of the distal radius due to fractures in pediatric patients. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2004. 124 (1), p. 1-9.
- Müller, M.C., Burger, C., Florczyk, A., Striepens, N. und C. Rangger. Elastischer Titannagel zur minimal-invasiven Osteosynthese der Klavikulaschaftfraktur. *Chirurg*, 2007. 78(4), p. 349–355.
- Müller, M.C., Welle, K., Windemuth, M., Burger, C. und P.H. Pennekamp. Elastischer Titannagel zur minimalinvasiven Osteosynthese von Mittelhandfrakturen. *Z Orthop Unfall*, 2013. 151, p. 525–531.
- Nau, C., Marzi, I., Ziehbarth, K. und S. Berger. Fractures in Children and Adolescents. In: *Intramedullary Nailing*. Ed. P.M. Rommens, und M.H. Hessmann. Springer London, 2015.
- Nijs, S. Olecranon and Ulna. p. 147-160. In: *Intramedullary Nailing*. Ed. P.M. Rommens, und M.H. Hessmann. Springer London, 2015.
- Nishiwaki, M., Tazaki, K., Shimizu, H. und A. M. Ilyas. Prospective Study of Distal Radial Fractures Treated with an Intramedullary Nail. *J Bone Joint Surg Am*, 2011. 93, p. 1436-41.
- Price, C.T., Scott, D.S., Kurzner, M.E. und J.C. Flynn. Malunited forearm fractures in children. *J Pediatr Orthop*, 1990. 10(6), p. 705-12.

- Rabinovich, A., Adili, A. und J. Mah. Outcomes of intramedullary nail fixation through the olecranon apophysis in skeletally immature forearm fractures. *J Pediatr Orthop*. 2005 25 (5), p. 565-569.
- Rampoldi, M. und A. Marisco. Dorsal nail plate fixation of distal radius fractures. *Acta Orthop Belg*, 2010. 76, p. 472-478.
- Richter, D., Ostermann, P., Ekkernkamp, A., Muhr, G. und M. Hahn. Elastic Intramedullary Nailing: A Minimally Invasive Concept in the Treatment of Unstable Forearm Fractures in Children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 1998. 18(4), p. 457-461.
- Saka, G., Saglam, N., Kurtulmuş, T., Avci, C.C., Akpınar, F., Kovacı, H. und A. Celik. New interlocking intramedullary radius and ulna nails for treating forearm diaphyseal fractures in adults: a retrospective study. *Injury*, 2014a. 45 Suppl 1, p. 16-23.
- Saka, G., Saglam, N., Kurtulmuş, T., Bakir, U., Avci, C., Akpınar, F. und A. Alasaran. Treatment of isolated diaphyseal fractures of the radius with an intramedullary nail in adults. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2014b. 24(7), p.1085-1093.
- Scaglione, M., Fabbri, L., Dell' Omo, D., Goffi, A und G. Guido. The role of external fixation in the treatment of humeral shaft fractures: a retrospective case study review on 85 humeral fractures. *Injury*. 2015. 46 (2), p. 265-269.
- Seligson, D. History of intramedullary nailing. p.3-14. In: *Intramedullary Nailing*. Ed. P.M. Rommens, und M.H. Hessmann. Springer London, 2015.
- Smekal, V., Irenberger, A., Struve, P., Wambacher, M., Krappinger, D., und F.S. Kralinger. Elastic Stable Intramedullary Nailing Versus Nonoperative Treatment of Displaced Midshaft Clavicular Fractures—A Randomized, Controlled, Clinical Trial. *J Orthop Trauma*, 2009. 23(2), p. 106-112.
- Smith, V.A., Goodman, H.J., Strongwater, A. and B. Smith. Treatment of Pediatric Both-Bone Forearm Fractures. A Comparison of Operative Techniques. *J Pediatr Orthop*, 2005. 25(3), p. 309-313.
- Stedteld, H.-W. Rationale of Intramedullary Nailing. p.13-37. In: *Intramedullary Nailing*. Ed. P.M. Rommens, und M.H. Hessmann. Springer London, 2015.
- Toussaint, D., Vanderlinden, C. und J. Bremen. Stable elastic nailing applied to diaphyseal fractures of the forearm in children (auf Französisch). *Acta Orthop Belg* (1991). 57 (2), p. 147-153.
- Tscherne, H., Oestern, H.-J., und U. Sander. Technik und Ergebnisse der Plattenosteosynthese am Unterarmschaft. *Unfallheilkunde*, 1978. 81, p. 332-43.
- Van der Reis, W. L., Otsuka, N., Moroz, P. und Mah, J. Intramedullary Nailing Versus Plate Fixation for Unstable Forearm Fractures in Children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 1998. 18(1), p.9-13.
- Van Egmond, P.W., van der Sluijs, H.A., van Royen, B.J. und R. Saouti. Refractures of the paediatric forearm with the intramedullary nail in situ. *BMJ Case Rep*, 2013. p. 1-5.

Verstreken, L., Delronge, G., Lamoureux, J. Shaft Forearm Fractures in Children: Intramedullary Nailing with Immediate Motion: A Preliminary Report. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 1998. 8(4), p. 450-453.

Waters, P. M., Bae, D. S. und K. D. Montgomery. Surgical management of posttraumatic distal radial growth arrest in adolescents. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 2002. 22(6), p. 717-724.

Wakasugi, T. und R. Shirasaka. Intramedullary Nail Fixation for Displaced and Unstable Distal Radial Fractures in Patients Aged 65 Years or Older. *J Hand Surg Asian Pac*, 2016. 21(1), p. 59-63.

Weckbach, A., Blattert, T.R. und Ch. Weißer. Interlocking nailing of forearm fractures. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2006. 126, p. 309–315.

Weinberg, A.-M., Castellani, C., und F. Amerstorfer. Elastisch-stabile intramedulläre Marknagelung (ESIN) von Unterarmfrakturen. *Oper Orthop Traumatol*, 2008. 20(4-5), p. 285–296.

9. Anhang

9.1. Formelverzeichnis

Formel 1:	Berechnung DASH Score	12
-----------	-----------------------------	----

9.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Bewertung der Ergebnisse des Mayo Wrist Score (Cooney, 1987)	13
Tabelle 2:	Bereitschaft Patienten zu Nachuntersuchung	16
Tabelle 3:	Ergebnis telefonische Befragung Patienten.....	16
Tabelle 4:	Verteilung der Frakturmuster	17
Tabelle 5:	Patienten mit Refrakturen	17
Tabelle 6:	Verteilung der Frakturursachen.....	17
Tabelle 7:	Operationsverfahren.....	18
Tabelle 8:	Parameter der Operation und der Metallentfernung	18
Tabelle 9:	Beantwortung der DASH Module:	18
Tabelle 10:	Ergebnisses für den DASH Score	19
Tabelle 11:	Patienten mit einem DASH Score Behinderung von Arm, Schulter und Hand ungleich 0	19
Tabelle 12:	Mayo Wrist Score.....	21
Tabelle 13:	Einzelergebnisse Mayo Wrist Score	21
Tabelle 14:	Patienten mit Mayo Wrist Score ungleich 100	22
Tabelle 15:	Ergebnisse Marburger Erhebungsbogen	24
Tabelle 16:	Klassifizierung des Rotationsverlustes von ausgeheilten Unterarmfrakturen durch Daruwalla (1979)	26
Tabelle 17:	Klassifizierung der Residualrotation von Behnke et al. (2012) basierend auf Grace und Eversmann (1980).	26
Tabelle 18:	Klassifizierung des Rotationsverlustes von Price et al. (1990)	27
Tabelle 19:	Klassifizierung des Rotationsverlustes von Altay et al. (2006)	27
Tabelle 20:	Klassifizierung des Unterschiedes der Umwendbewegung von Jubel et al. (2004).	27
Tabelle 21:	Klassifizierung der Achsabweichung von Nau et al., (2015.	28
Tabelle 22:	Klassifizierung des Rotationverlustes (Fernandez et al., 2005).	28
Tabelle 23:	Abstand zwischen Metallentfernung und Bewertung des Operationsergebnisses	33
Tabelle 24:	Klassifizierung der DASH Scores.....	35

9.3. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: ESIN bei 9-jährigem Mädchen mit retrograder Nagelung des Radius und antegrader Nagelung der Ulna	4
Abbildung 2: Elastisch-Stabile Intramedulläre Nägesl in verschiedenen Stärken	7
Abbildung 3: Verteilung der DASH Scores Behinderung von Arm, Schulter und Hand	20
Abbildung 4: Verteilung des DASH Score Sport und Musikmodul	20
Abbildung 5: DASH Score für Arbeits- und Berufsmodul ungleich 0	21
Abbildung 6: Mayo Wrist Score	23

9.4. Abkürzungsverzeichnis

ESIN: Elastisch-Stabile Intramedulläre Nagelung

9.5. DASH Score Fragebogen

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

DER DASH-Fragebogen

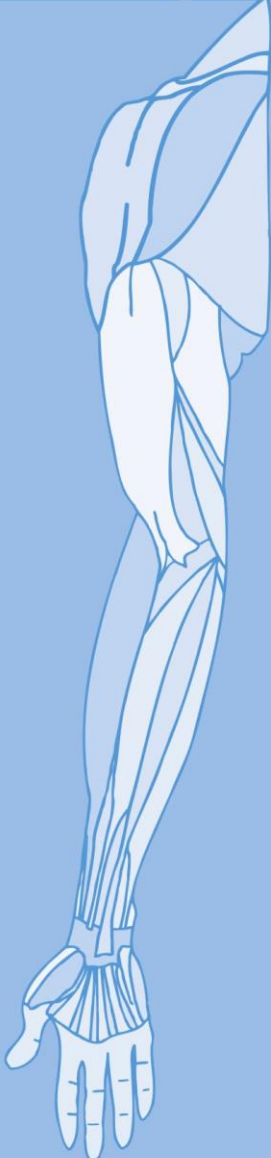
ANLEITUNG

Dieser Fragebogen beschäftigt sich sowohl mit Ihren Beschwerden als auch mit Ihren Fähigkeiten, bestimmte Tätigkeiten auszuführen.

Bitte beantworten Sie *alle Fragen* gemäß Ihrem Zustand in der vergangenen Woche, indem Sie einfach die entsprechende Zahl ankreuzen.

Wenn Sie in der vergangenen Woche keine Gelegenheit gehabt haben, eine der unten aufgeführten Tätigkeiten durchzuführen, so wählen Sie die Antwort aus, die Ihrer Meinung nach *am ehesten* zutreffen würde.

Es ist nicht entscheidend, mit welchem Arm oder welcher Hand Sie diese Tätigkeiten ausüben. Antworten Sie Ihrer Fähigkeit entsprechend, ungeachtet, wie Sie die Aufgaben durchführen konnten.



© Institute for Work & Health 2006. All rights reserved.

Deutsche Version:
Günter Germann, Angela Harth, Gerhard Wind, Erhan Demir.
University of Heidelberg.

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

Bitte schätzen Sie Ihre Fähigkeit ein, wie Sie folgende Tätigkeiten in der vergangenen Woche durchgeführt haben, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen.

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
2. Schreiben	1	2	3	4	5
3. Einen Schlüssel umdrehen	1	2	3	4	5
4. Eine Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
5. Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
6. Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	1	2	3	4	5
7. Schwere Hausarbeit (z. B. Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
8. Garten- oder Hofarbeit	1	2	3	4	5
9. Betten machen	1	2	3	4	5
10. Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
11. Einen schweren Gegenstand tragen (über 5kg)	1	2	3	4	5
12. Eine Glühbirne über Ihrem Kopf auswechseln	1	2	3	4	5
13. Ihre Haare waschen oder föhnen	1	2	3	4	5
14. Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
15. Einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
16. Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
17. Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen (z. B. Karten spielen, Stricken, usw.)	1	2	3	4	5
18. Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.)	1	2	3	4	5
19. Freizeitaktivitäten, bei denen Sie Ihren Arm frei bewegen (z. B. Badminton, Frisbee)	1	2	3	4	5
20. Mit Fortbewegungsmitteln zurecht zukommen (um von einem Platz zum anderen zu gelangen)	1	2	3	4	5
21. Sexuelle Aktivität	1	2	3	4	5

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

22. In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen während der vergangenen Woche beeinträchtigt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Überhaupt nicht	Ein wenig	Mäßig	Ziemlich	Sehr
1	2	3	4	5

23. Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Überhaupt nicht eingeschränkt	Ein wenig eingeschränkt	Mäßig eingeschränkt	Sehr eingeschränkt	Nicht möglich
1	2	3	4	5

- Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Symptome während der letzten Woche ein. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die entsprechende Zahl an)

	Keine	Leichte	Mäßige	Starke	Sehr starke
24. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
25. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand während der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit	1	2	3	4	5
26. Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
27. Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
28. Steifheit in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5

29. Wie groß waren Ihre Schlafstörungen in der letzten Woche aufgrund von Schmerzen im Schulter-, Arm- oder Handbereich? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1	2	3	4	5

30. Aufgrund meiner Probleme im Schulter-, Arm- oder Handbereich empfinde ich meine Fähigkeiten als eingeschränkt, ich habe weniger Selbstvertrauen oder ich fühle, dass ich mich weniger nützlich machen kann. (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Weder Zustimmung noch Ablehnung	Stimme zu	Stimme sehr zu
1	2	3	4	5

DASH Wert für Behinderung/Symptome = $\frac{[(\text{Summe der } n \text{ Antwortpunkte}) - 1] \times 25}{n}$
wobei n der Anzahl der beantworteten Fragen entspricht

Wurden mehr als 3 Fragen nicht beantwortet, so darf ein DASH Wert nicht berechnet werden.

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

SPORT- UND MUSIK-MODUL (OPTIONAL)

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihrer Schulter-, Arm- oder Handprobleme auf das Spielen Ihres Musikinstrumentes oder auf das Ausüben Ihres Sports oder auf beides.

Wenn Sie mehr als ein Instrument spielen oder mehr als eine Sportart ausüben (oder beides), so beantworten Sie bitte die Fragen in Bezug auf das Instrument oder die Sportart, die für Sie am wichtigsten ist.

Bitte geben Sie dieses Instrument bzw. diese Sportart hier an:

Ich treibe keinen Sport oder spiele kein Instrument (Sie können diesen Bereich auslassen).

Bitte kreuzen Sie die Zahl an, die Ihre körperlichen Fähigkeiten in der vergangenen Woche am besten beschreibt. Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. In der üblichen Art und Weise Ihr Musikinstrument zu spielen oder Sport zu treiben?	1	2	3	4	5
2. Aufgrund der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand Ihr Musikinstrument zu spielen oder Sport zu treiben?	1	2	3	4	5
3. So gut Ihr Musikinstrument zu spielen oder Sport zu treiben wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
4. Die bisher gewohnte Zeit mit dem Spielen Ihres Musikinstrumentes oder mit Sporttreiben zu verbringen?	1	2	3	4	5

ARBEITS- UND BERUFS-MODUL (OPTIONAL)

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihrer Schulter-, Arm- oder Handprobleme auf Ihre Arbeit (einschließlich Haushaltsführung, falls dies Ihre Hauptbeschäftigung ist).

Bitte geben Sie Ihre/n Arbeit/Beruf hier an:

Ich bin nicht berufstätig (Sie können diesen Bereich auslassen).

Bitte kreuzen Sie die Zahl an, die Ihre körperlichen Fähigkeiten in der vergangenen Woche am besten beschreibt. Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. In der üblichen Art und Weise zu arbeiten?	1	2	3	4	5
2. Aufgrund der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand Ihre übliche Arbeit zu erledigen?	1	2	3	4	5
3. So gut zu arbeiten wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
4. Die bisher gewohnte Zeit mit Ihrer Arbeit zu verbringen?	1	2	3	4	5

Auswertung der optionalen Module: Die Antwortpunkte der Fragen werden summiert; durch 4 (Anzahl der Fragen) dividiert; 1 wird subtrahiert und danach mit 25 multipliziert. Für die Auswertung eines optionalen Moduls dürfen keine Antworten fehlen.



**Institute
for Work &
Health**

Research Excellence
Advancing Employee
Health

INSTITUTE FOR WORK & HEALTH 2006. ALL RIGHTS RESERVED.

9.6. Mayo Wrist Score Fragebogen

Kategorie	Punkte	Befund
Schmerz	25	kein Schmerz
	20	leichter Schmerz bei starker Aktivität
	20	Schmerz nur bei Wetteränderung
	15	mittelgradiger Schmerz bei starker Aktivität
	15	leichter Schmerz bei Alltagstätigkeiten
	5	mittelgradiger Schmerz bei Alltagstätigkeiten
	0	Ruheschmerz
Zufriedenheit	25	sehr zufrieden
	20	mittelmäßig zufrieden
	10	nicht zufrieden aber arbeitsfähig
	0	nicht zufrieden, arbeitsunfähig
Bewegungsumfang	25	100% der Gegenseite
	15	75–99% der Gegenseite
	10	50–74% der Gegenseite
	5	25–49% der Gegenseite
	0	0–24% der Gegenseite
Griffstärke (Grobgriff)	25	100% der Gegenseite
	15	75–99% der Gegenseite
	10	50–74% der Gegenseite
	5	25–49% der Gegenseite
	0	0–24% der Gegenseite
<u>Endergebnis</u>		
<u>(Punkte)</u>		

9.7. Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren Damen/Herren in Marburg:

Adamkiewicz, Al Fakhri, Arndt, Baum, Becker, Benes, Berger, Bien, Bohlander, Brehm, Brödje, Burchert, Busch, Cetin, Czubayko, Dannlowski, Donner-Banzhoff, Eickmann, Ellenrieder, Engenhardt-Cabillic, Falkenberg, Fendrich, Fuchs-Winkelmann, Galambos, Garn, Götze, Gress, Grosse, Grundmann, Grzeschik, Hasilik, Helwig-Rolig, Hertl, Herz, Hilt, Hofer, Höffken, Hofmann, Hoyer, Hundt, Kann, Kerwat, Kill, Kircher, König, Koolman, Krones, Krüger, Kruse, Kuhnt, Leube, Lill, Löffler, Lohoff, Luckmann, Mahnken, Maier, Maisner, Mandrek, Moll, Möller, Mueller, Müller, Mutters, Neubauer, Neumüller, Nimsky, Nockher, Oberkircher, Oertel, Oliver, Opitz, Ossendorf, Pagenstecher, Peterlein, Pfützner, Plant, Quint, Renz, Richter, Riera-Knorrenschild, Riße, Ritter, Ruchholtz, Sahmland, Schäfer, Schneider, Schüttler, Seifart, Seitz, Sekundo, Shams-Eldin, Sommer, Sprenger, Steinbach-Hundt, Steiniger, Steitz-Naumann, Stief, Thursar, Toussaint, Vogelmeier, Vogt, von Knobloch, Wagner, Wahl, Weber, Weihe, Weisser, Werner, Westermann, Wollmer, Wrocklage, Wulf, Zemlin.

9.8. Danksagung

Es mir ein besonderes Bedürfnis, mich bei den folgenden Personen für ihre Unterstützung und Hilfe zu bedanken:

PD Dr. Christian-Dominik Peterlein für die Überlassung des interessanten Themas und die Betreuung bei der Anfertigung der Dissertation.

Prof. Dr. Antonio Krüger für die Hilfen, Anregungen und Kommentare beim Erarbeiten des Themas.

Herrn Lasse Hagen für die statistische Beratung der Arbeit und seine Ratschläge zur Form der Arbeit.

Dr. Nina Timmesfeld für die statistischen Hinweise für die Anfertigung der Dissertation.